



# วิทยานิพนธ์

การป้องกันโครงข่ายสายโทรศัพท์ต่อผลของการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของดินที่  
ระบบกราวด์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิด  
จากฟอลต์ในสายไฟฟ้ากำลัง

**Protection of Telephone Network in Rural Areas Against the  
Effects of Ground Potential Rise Originated  
from Power Line Faults**

นายแสงอุทัย ไพจิตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)  
ปริญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การป้องกันโครงข่ายสายโทรศัพท์ต่อผลของการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของดินที่ระบบกราวด์ของ  
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากฟอลต์ในสายไฟฟ้ากำลัง

Protection of Telephone Network in Rural Areas Against the Effects of Ground Potential  
Rise Originated from Power Line Faults

นามผู้วิจัย นายแสงอุทัย ไพจิตร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์สันติ อัครศรีพงษ์ศรี, M.Eng.Sc. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์วินัย พุกกะวัน, D.Eng. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติ์ การะเกตุ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การป้องกันโครงข่ายสายโทรศัพท์ต่อผลของการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของดินที่ระบบกราวด์ของแหล่งจ่าย  
กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากฟอลต์ในสายไฟฟ้ากำลัง

Protection of Telephone Network in Rural Areas Against the Effects of Ground  
Potential Rise Originated from Power Line Faults

โดย

นายแสงอุทัย ไพจิตร

เสนอ

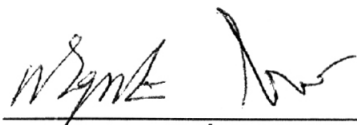
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2550

แสงอุทัย ไพจิตร 2550: การป้องกันโครงข่ายสายโทรศัพท์ต่อผลของการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า  
ของดินที่ระบบกราวด์ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากฟอลต์ในสายไฟฟ้ากำลัง  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์  
สันติ อัสวศรีพงษ์ธร, M.Eng.Sc. 146 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้อธิบายเกี่ยวกับการศึกษาลักษณะของการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่มี  
สาเหตุมาจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังในพื้นที่ใกล้เคียงกับโครงข่ายของเคเบิลโทรศัพท์  
ภายในจังหวัดสิงห์บุรีพบว่าขณะเกิดฟอลต์ชนิดหนึ่งเฟสลงดินที่สายระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง  
ขนาด 22 กิโลโวลต์ บางส่วนหรือทั้งหมดของกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ จะไหลกลับแหล่งกำเนิด  
ของมัน ด้วยเหตุนี้จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ดินสูงขึ้น เรียกว่า กราวด์โพเทนเชียลไรส์ และยังทำให้  
เกิดขอบเขตอิทธิพลของศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น เมื่อโล่กำบังของเคเบิลถูกต่อลงดินในขอบเขตอิทธิพล  
นี้ ก็จะทำให้มีแรงดันส่งผ่านที่โล่กำบังอันเนื่องมาจากตำแหน่งการต่อลงดินของโล่กำบังที่  
แตกต่างกันและมีค่าเพียงพอที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสไหลวน ศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่เพิ่มขึ้นและมี  
ค่าเพียงพออาจทำให้อุปกรณ์ป้องกันที่ปลายทาง(ผู้ให้บริการ)ทำงานซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่  
เพิ่มขึ้นอาจจะไปปรากฏที่เครื่องโทรศัพท์หรือโมเด็มของผู้ให้บริการได้

ศักย์ไฟฟ้าของดินที่เพิ่มขึ้นที่สถานีไฟฟ้าย่อยสิงห์บุรีและขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพล  
ได้มาจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลระดับกำลังของฟอลต์และข้อมูลการออกแบบกราวด์กริดของ  
สถานีไฟฟ้าย่อยสิงห์บุรีจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ  
EXCEL พบว่าศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่สูงขึ้นสูงสุดคือ 3,819.45 โวลต์ และขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพล  
มีรัศมี 735 เมตร รอบๆกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าย่อยสิงห์บุรี และเนื่องจากการต่อลงดินของ  
โล่กำบังของเคเบิลโทรศัพท์ทุกๆระยะ 500 – 600 เมตร จึงทำให้เกิดกระแสไหลวนในโล่กำบัง  
ของเคเบิลสูงสุด 26.95 แอมแปร์ และมีแรงดันที่โล่กำบังสูงสุด 54.03 โวลต์ ที่ตำแหน่งตู้พัก  
ปลายทางที่ 5 ของโครงข่ายเคเบิลโทรศัพท์เทียบกับจุดกราวด์ที่ชุมสายโทรศัพท์ วิทยานิพนธ์นี้มี  
ข้อเสนอแนะในการพิจารณาดำเนินการต่อลงดินของโล่กำบังของเคเบิลสำหรับเส้นทางที่  
ผ่านสถานีไฟฟ้า และได้เสนอการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันสำหรับผู้ให้บริการใหม่



ลายมือชื่อนิสิต



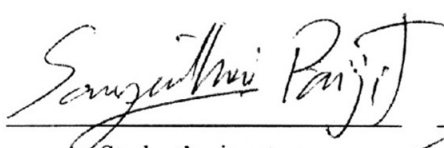
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

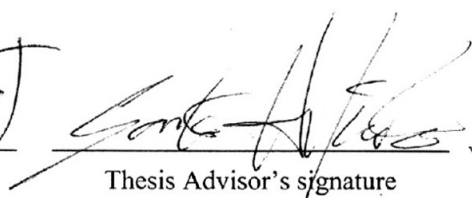
7, ธค, 2550

Sanguthai Paijit 2007: Protection of Telephone Network in Rural Areas Against the Effects of Ground Potential Rise Originated from Power Line Faults. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Santi Asawasripongtorn, M.Eng.Sc. 146 pages.

The thesis describes studies on ground potential rise originated from power line faults in the vicinity of a rural telephone network in Singburi province. It was found that during a single line to ground fault on the 22 kV PEA distribution line portion or total of zero sequence fault current flowed back to its source. This produced ground potential rise and create ground potential rise zone of influence. With the shields of the cable grounded at certain interval, transferred potential at various locations are existed causing loop current to flow. Ground potential rise may exceed protection devices' operating level causing them to operate and subsequently the ground potential rise may appear at subscriber's telephone or modem

Ground potential rise at Singburi substation and zone of influence were calculated employing fault level and available information on ground grid design plan from EGAT. Computation by the use of MATLAB and EXCEL found that the maximum ground potential rise is 3819.45 volts and zone of influence is 735 meters around the substation ground grid. The shield of the telephone cables are grounded at between 500 – 600 meters interval. Maximum loop current on the shield conductor was found to be 26.95 amperes. Maximum voltage on the shield is 54.03 volts between the ground point at the exchange and distribution point number 5 of local cable network. Recommendation on telephone cable shield ground relocation is given. A new design of protection devices is proposed.

  
Student's signature

 7, Dec, 2007  
Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความสนับสนุนช่วยเหลือ และได้รับคำแนะนำปรึกษาจาก รศ.สันติ อัสวศรีพงษ์ธร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร.วินัย พุกกะวัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ชูเกียรติ การะเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับความช่วยเหลือด้านข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันจากส่วนวิจัยและพัฒนางานตอนนอกและระบบป้องกัน ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บ.TOT จก.(มหาชน) รวมถึงความช่วยเหลือด้านข้อมูลข่ายสายโทรศัพท์จากส่วนบริการลูกค้าโทรศัพท์จังหวัดสิงห์บุรี กระผมขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เหนือสิ่งอื่นใด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ มารดา และบิดา ซึ่งเป็นกำลังใจให้กระผมได้ศึกษาต่อในครั้งนี้ รวมทั้งขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจด้วยดีเสมอ จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

แสงอุทัย ไพจิตร

พฤศจิกายน 2550

## สารบัญ

|                      | หน้า |
|----------------------|------|
| สารบัญ               | (1)  |
| สารบัญตาราง          | (2)  |
| สารบัญภาพ            | (3)  |
| คำนำ                 | 1    |
| วัตถุประสงค์         | 3    |
| การตรวจเอกสาร        | 4    |
| อุปกรณ์และวิธีการ    | 94   |
| อุปกรณ์              | 94   |
| วิธีการ              | 94   |
| ผลและวิจารณ์         | 95   |
| ผล                   | 95   |
| วิจารณ์              | 134  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ    | 136  |
| สรุป                 | 136  |
| ข้อเสนอแนะ           | 136  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 145  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                  | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1    แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของเคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.9 มม.  | 61   |
| 2    แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของเคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.65 มม. | 62   |
| 3    แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของเคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.5 มม.  | 63   |
| 4    แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของเคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.4 มม.  | 64   |
| 5    ค่าความต้านทานจำเพาะของดินและน้ำชนิดต่างๆ                                                                            | 86   |
| 6    เปรียบเทียบ ข้อดี-ข้อเสีย และลักษณะการทำงาน ของอุปกรณ์ป้องกันชนิดต่างๆ                                               | 93   |
| 7    แสดงข้อมูลค่าความต้านทานลงดินและลักษณะการต่อลงดินของขุมสายและ<br>ข่ายสาย                                             | 96   |
| 8    แสดงค่าแรงดันทดสอบค่าความทนได้ต่อแรงดันสูงของเคเบิลโทรศัพท์<br>ระหว่างคู่สายแต่ละคู่                                 | 100  |
| 9    แสดงค่าแรงดันทดสอบค่าความทนได้ต่อแรงดันสูงของเคเบิลโทรศัพท์<br>ระหว่างคู่สายที่อยู่แกนกลางของเคเบิลกับโล่กำบัง       | 101  |
| 10   ผลการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งปลายทาง                                                                  | 107  |
| 11   แสดงค่าระดับกระแสลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี (กฟผ.)                                                                | 116  |
| 12   แสดงระยะจากสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรีที่ปรากฏศักย์ไฟฟ้าที่ดินจากการเกิด<br>กราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี       | 122  |
| 13   แสดงค่าแรงดันที่ปรากฏที่โล่กำบังขณะที่เกิดฟอลต์ลงดิน ที่ระบบ 22 kV<br>แล้วเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์                   | 133  |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                        | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | วงจรสมมูลอย่างง่ายสำหรับการคำนวณกราวด์โพเทนเชียลไรซ์                                   | 7    |
| 2      | แสดงรูปคลื่นของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ไม่สมมาตร                                        | 10   |
| 3      | แรงดันโหมดผลต่างและแรงดันโหมดผลรวม                                                     | 11   |
| 4      | แสดงตัวอย่างของแรงดันโหมดผลต่างและแรงดันโหมดผลรวม                                      | 12   |
| 5      | แรงดันโหมดผลต่างปกติของระบบโทรศัพท์                                                    | 13   |
| 6      | แรงดันโหมดผลรวมปกติของระบบโทรศัพท์                                                     | 13   |
| 7      | แรงดันโหมดผลต่างของระบบโทรศัพท์เมื่อถูกเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า                           | 14   |
| 8      | แรงดันโหมดผลรวมของระบบโทรศัพท์เมื่อถูกเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า                            | 14   |
| 9      | แรงดันโหมดผลต่างเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า<br>ขณะเกิดฟอลต์ที่ระบบ 22 กิโลโวลต์  | 15   |
| 10     | แรงดันโหมดผลต่างเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า<br>ขณะเกิดฟอลต์ที่ระบบ 115 กิโลโวลต์ | 15   |
| 11     | แสดงนิยามของรูปคลื่นอิมพัลส์แรงดัน                                                     | 17   |
| 12     | แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดกราวด์ฟอลต์ลงดิน<br>ที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า    | 22   |
| 13     | แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดกราวด์ฟอลต์ลงดิน<br>ที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า    | 23   |
| 14     | แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดกราวด์ฟอลต์ลงดิน<br>ที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า    | 24   |
| 15     | แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดกราวด์ฟอลต์ลงดิน<br>ที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า    | 25   |
| 16     | แสดงขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ในทางทฤษฎี                     | 28   |
| 17     | กราวด์โพเทนเชียลเกรเดียน                                                               | 29   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                       | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 18     | อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มีขนาด 150 ตารางเมตร                                                         | 30   |
| 19     | อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มีขนาด 3250 ตารางเมตร                                                        | 31   |
| 20     | อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มีขนาด 27000 ตารางเมตร                                                       | 32   |
| 21     | อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มีขนาด 87000 ตารางเมตร                                                       | 33   |
| 22     | แสดงเส้นขอบศักย์ไฟฟ้าที่ดินของเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์                                                       | 36   |
| 23     | โครงข่ายที่มีลักษณะคล้ายบันไดของอิมพีแดนซ์ของดิน                                                                                      | 38   |
| 24     | การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดินโดยตรง                                                                                          | 41   |
| 25     | การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดิน โดยต่อผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูง                                                                     | 41   |
| 26     | การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดิน โดยต่อผ่านอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ                                                                     | 42   |
| 27     | ระบบ Ground ข่ายสาย แบบ Indirect Feed                                                                                                 | 46   |
| 28     | ระบบ Ground ข่ายสาย แบบ direct Feed                                                                                                   | 47   |
| 29     | การติดตั้งแท่งหลักดินจุดสุดท้ายของสายสะพานและโล่กำบังของเคเบิล                                                                        | 50   |
| 30     | การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักที่มีอยู่เดิมและแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้งานได้ทั้งสองแท่ง   | 52   |
| 31     | การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักใหม่                                                           | 53   |
| 32     | การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักที่มีอยู่เดิม กรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้ได้เพียงหนึ่งแท่ง | 54   |
| 33     | การติดตั้งแท่งหลักดินใหม่ Ground bar และการเชื่อมต่อสำหรับบ่อพักที่มีอยู่เดิมกรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมชำรุดทั้งสองแท่ง             | 55   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                                                                                               | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 34 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดิน<br>ในบ่อพักย่อยที่มีอยู่เดิม และแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้งานได้ | 56   |
| 35 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดิน<br>ในบ่อพักย่อยที่มีอยู่เดิม กรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมชำรุด    | 57   |
| 36 การต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับ Ground Bar ของบ่อพักและบ่อพักย่อย                                                                | 58   |
| 37 การเชื่อมต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับแท่งหลักดินแบบ Single Ground Rod<br>โดยวิธี Exothermic Welding                              | 60   |
| 38 การเชื่อมต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับแท่งหลักดินแบบ Single Ground Rod<br>โดยวิธี เชื่อมแก๊ส                                      | 60   |
| 39 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสัญญาณ สำหรับชุมสาย MSU                                                                       | 66   |
| 40 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสัญญาณ สำหรับชุมสาย RLU/RSU                                                                   | 67   |
| 41 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสัญญาณสำหรับชุมสาย<br>Mobile Container                                                        | 68   |
| 42 ตัวอย่าง การต่อระบบลงดินชุมสาย MSU                                                                                                | 81   |
| 43 วงจรสมมูลย์การต่อลงดินของโล่กำบัง                                                                                                 | 82   |
| 44 คอมมอนเอิร์ธ ทำหน้าที่เป็นจุดต่อร่วมวงจรไฟฟ้า                                                                                     | 84   |
| 45 การให้ความหมายของความต้านทานจำเพาะของดินด้วยการใช้ก้อนปริมาตร<br>ลูกบาศก์                                                         | 85   |
| 46 วงจรการวัดค่าความต้านทานจำเพาะโดยวิธีของ Frank Wenner                                                                             | 87   |
| 47 วงจรการป้องกันสำหรับผู้ให้บริการซึ่งปัจจุบันเป็นหลอดคายประจุผ่านก๊าซ<br>ขณะที่ได้รับผลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์                     | 88   |
| 48 หลอดคายประจุผ่านก๊าซ (Gas Discharge Tube) ที่ใช้ป้องกันสายนำสัญญาณ<br>โทรศัพท์                                                    | 91   |
| 49 Positive Temperature Coefficient (PTC) ที่ใช้ป้องกันสายนำสัญญาณโทรศัพท์                                                           | 92   |
| 50 FIGURE 8 ALPETH SHEATHED CABLE [AP(8)]                                                                                            | 97   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                       | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 51     | POLYETHYLENE INSULATION ALPETH SHEATHED CABLE (AP)                                                                                    | 98   |
| 52     | FOAM/SKIN INSULATION ALPETH SHEATHED FILLED CABLE<br>(AP-FSF)                                                                         | 99   |
| 53     | เครื่อง AC SURGE GENERATOR ที่ใช้ในการทดสอบ                                                                                           | 102  |
| 54     | เครื่องวัด Oscilloscope ที่ใช้ในการทดสอบ                                                                                              | 103  |
| 55     | อุปกรณ์ป้องกันที่ทำการทดสอบ                                                                                                           | 103  |
| 56     | วงจรที่ใช้ทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน<br>ที่ติดตั้งปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)                               | 104  |
| 57     | วงจรที่ใช้ทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกิน<br>ที่ติดตั้งต้นทาง(MDF Protector)                               | 105  |
| 58     | ภาพแสดงการทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน<br>ที่ติดตั้งปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)                               | 105  |
| 59     | ภาพแสดงการทดสอบหาขนาดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน<br>ที่ติดตั้งปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)ขณะที่อุปกรณ์ทำงาน             | 106  |
| 60     | ภาพแสดงการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกิน<br>ที่ติดตั้งต้นทาง(MDF Protector)                                                    | 106  |
| 61     | ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 131.250 V <sub>p</sub>                                                              | 108  |
| 62     | รูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 134.375 V <sub>p</sub>                                                                | 109  |
| 63     | ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 140 V <sub>p</sub>                                                                  | 110  |
| 64     | ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 150 V <sub>p</sub>                                                                  | 111  |
| 65     | รูปคลื่นแรงดันทดสอบแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 230 V <sub>RMS</sub>                                                                      | 112  |
| 66     | ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับขนาด 230 V <sub>RMS</sub><br>โดยที่จ่ายแรงดันเลิ่จกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Tip Ring – Ground | 112  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                                                                                                                                                       | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 67 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับขนาด 230 V <sub>RMS</sub><br>โดยที่จ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Ground – Tip Ring                                                   | 113  |
| 68 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับขนาด 230 V <sub>RMS</sub><br>โดยที่จ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Tip – Ring                                                          | 113  |
| 69 รูปคลื่นกระแสเสิร์จไหลผ่านหลอดคายประจุผ่านก๊าซขณะ<br>หลอดคายประจุผ่านก๊าซทำงานโดยวัดคร่อมตัวต้านทานขนาด 1 โอห์ม                                                                           | 114  |
| 70 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับขนาด 230 V <sub>RMS</sub><br>โดยที่จ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Ground – Tip Ring<br>(การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งด้านทาง)      | 114  |
| 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนของอินคัลติฟรีแอกแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์                                                                                                                          | 116  |
| 72 แบบกราฟด์กริดสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี                                                                                                                                                          | 119  |
| 73 กราฟแสดงระดับแรงดันกราฟด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ระยะทางต่างๆ<br>จากสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี                                                                                                          | 123  |
| 74 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยโปรแกรม google earth (free version)<br>แสดงพื้นที่ที่พิจารณา                                                                                                     | 124  |
| 75 แสดงขั้วสายโทรศัพท์ชุมสายศาลากลาง ที่มีบางส่วนขนานไปกับระบบไฟฟ้า<br>ขนาด 115 และ 22 kV                                                                                                    | 125  |
| 76 แสดงขั้วสายโทรศัพท์และตู้พักปลายทางและจุดที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร                                                                                                                    | 126  |
| 77 แสดงขั้วสายโทรศัพท์และตู้พักปลายทางและจุดที่มีการต่อลงดิน<br>ทุกๆ 500 เมตร และเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ดินรอบๆ สถานีไฟฟ้าเมื่อเกิด<br>ฟอลต์ลงดินในระบบไฟฟ้า ที่ระดับแรงดัน 22 kV                  | 127  |
| 78 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบัง<br>ขั้วสายโทรศัพท์ที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร ของชุมสายศาลากลาง<br>เส้นทางที่ผ่านสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี ขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV | 128  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                                                                                                                                   | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 79 แสดงวงจรสมมูลย์ของการต่อลงดินของโล่กำบังทุกๆ 500 เมตร และขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV                                                                                   | 129  |
| 80 กราฟแสดงระดับแรงดันและกระแสที่โล่กำบังที่ระยะทางต่างๆ จากชุมสายโทรศัพท์                                                                                               | 134  |
| 81 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังข่ายสาย โทรศัพท์ที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร แต่เริ่มจากสถานีไฟฟ้า ช้างละ 300 เมตร ถัดไปช้างละ 700 เมตร       | 137  |
| 82 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังข่ายสาย โทรศัพท์ที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร โดยจุดแรกให้เริ่มจากสถานีไฟฟ้า ห่างออกไปช้างละ 500 เมตร          | 138  |
| 83 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังข่ายสาย โทรศัพท์ชุมสายโทรศัพท์ศาลากลาง ที่ผ่านสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี(ตามข้อเสนอแนะ)                               | 139  |
| 84 แสดงวงจรสมมูลย์ของการต่อลงดินของโล่กำบังทุกๆ 500 เมตร โดยไม่ลงกราวด์ที่ตำแหน่งตู้พักปลายทางที่ 5 และจุดระหว่าง ตู้พักปลายทางที่ 4 กับ 5 และขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV | 140  |
| 85 กราฟแสดงระดับแรงดันและกระแสที่โล่กำบังที่ระยะทางต่างๆ จาก ชุมสายโทรศัพท์ กรณีที่มีการเว้นการต่อลงดินที่ตู้พักปลายทางที่ 5 และ ที่จุดระหว่างตู้พักปลายทางที่ 4 กับ 5   | 141  |
| 86 วงจรอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งต้นทาง(ชุมสายโทรศัพท์)                                                                                                                    | 142  |
| 87 วงจรสมมูลย์ภายในตัวอุปกรณ์ Hybrid Clamping Circuit                                                                                                                    | 143  |
| 88 วงจรอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งปลายทาง(ผู้ใช้บริการ)ที่ได้ทำการออกแบบ                                                                                                    | 144  |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|      |   |                                                                                                                                                           |
|------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GPR  | = | กราวด์โพเทนเชียลไรส์ หรือ ศักย์ไฟฟ้าที่ดินเพิ่มขึ้น                                                                                                       |
| ZOI  | = | เขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์                                                                                                         |
| MGB  | = | มาสเตอร์กราวด์บาร์ เป็นกราวด์บาร์หลักภายในอาคาร                                                                                                           |
| FGB  | = | ฟลอร์กราวด์บาร์ เป็นกราวด์บาร์หลักของแต่ละชั้นภายในอาคาร                                                                                                  |
| GWB  | = | กราวด์วินโดว์บาร์ เป็นกราวด์บาร์สำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิด                                                                                                    |
| OCGB | = | เฮ้าท์ไซด์คอมมอนกราวด์บาร์ เป็นจุดรวมจุดต่อลงดินของอุปกรณ์อื่นๆที่อยู่ภายนอกอาคาร                                                                         |
| DP   | = | ตู้พักปลายทาง หมายถึงจุดเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโทรศัพท์กับสายกระจายซึ่งสายกระจาย คือสายที่ให้บริการเข้าไปที่บ้านผู้ใช้บริการโทรศัพท์                       |
| MDF  | = | เมนดิสตริบิวส์ชัน เฟรม หมายถึงอุปกรณ์สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโทรศัพท์ชนิดภายนอกอาคารกับเคเบิลภายในอาคารที่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องอุปกรณ์ชุมสาย |

## การป้องกันโครงข่ายสายโทรศัพท์ต่อผลของการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของดินที่ระบบกราวด์ ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากฟอลต์ในสายไฟฟ้ากำลัง

### Protection of Telephone Network in Rural Areas Against the Effects of Ground Potential Rise Originated from Power Line Faults

#### คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในระบบโทรคมนาคมสามารถลดขนาดของตัวอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลงมากซึ่งก็ทำให้ระดับแรงดันในการทำงานต่ำลงมากด้วย ดังนั้นผลกระทบจากระบบไฟฟ้ากำลังเพียงเล็กน้อยก็สามารถรบกวนระบบโทรคมนาคมหรือการรบกวนที่มีความรุนแรงมากก็สามารถที่จะทำความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในระบบเครือข่ายโทรคมนาคมนี้ได้ ปัจจัยการเข้ามาของเสิร์จนี้สามารถเข้ามาทาง การเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้ากำลังทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเกิดฟอลต์ โดยในสภาวะการเกิดฟอลต์ลงดินซึ่งกระแสฟอลต์ที่ไหลลงดินนี้จะไหลกลับแหล่งจ่ายของระบบในส่วนนั้นแล้วจะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้นที่ระบบกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์หรือเอิร์ทโพเทนเชียลไรส์ โดยหลังจากนี้จะเรียกว่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ และอีกปัจจัยหนึ่งคือปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่า จากผลกระทบดังกล่าวมาข้างต้น สามารถทำความเสียหายเป็นอย่างมากแก่ระบบโทรศัพท์ที่ให้บริการในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

ในอดีตโล่กำบัง(shield) ของเคเบิลโทรศัพท์จะถูกกำหนดให้ต่อถึงกันโดยตลอด และให้ต่อโล่กำบังลงดินที่ตำแหน่งต้นทาง และที่ผู้พักปลายทางผู้สุดท้าย (ปลายสายเคเบิล) ปัจจุบันเนื่องจากบมจ.ทีโอที ได้ให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านข่ายสายทองแดงที่มีอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงข่ายสายเคเบิลที่มีอยู่เพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้ ซึ่งก็ได้ผลดีพอสมควร ขั้นตอนหนึ่งในการปรับปรุงและออกเป็นมาตรฐานระบบต่อลงดินข่ายสาย คือการนำโล่กำบังของเคเบิลต่อลงดินทุกๆระยะ 500 – 600 เมตร



วิทยานิพนธ์นี้จะวิเคราะห์ปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ในระบบโทรคมนาคมเสียหายนั้นมาจากการเกิดภาวะฟอลต์ลงดินของระบบไฟฟ้ากำลัง แล้วทำให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์รวมทั้งเกิดการเหนี่ยวนำในสายโทรศัพท์จากกระแสฟอลต์ จนส่งผลทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบเครือข่ายโทรศัพท์ และส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งที่ต้นทางคือสถานีชุมสายโทรศัพท์และปลายทางคือเครื่องโทรศัพท์หรือโมเด็มเสียหาย ในการวิเคราะห์แหล่งที่มาของปัญหา และแนวทางการแก้ปัญหา โดยวิเคราะห์และแก้ปัญหาจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในระบบโทรศัพท์ของชุมสายโทรศัพท์ศาลากลางจังหวัดสิงห์บุรี เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ระหว่างแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้ากำลังและระบบโทรศัพท์
2. เพื่อศึกษารูปแบบการต่อลงดินของระบบโทรศัพท์ ที่มีผลก่อให้เกิดแรงดันเกินในระบบจากสถานที่จริงสำนักงานบริษัททีโอทีจำกัด(มหาชน) (สิงห์บุรี)
3. เพื่อคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี และคำนวณหาพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์
4. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการป้องกันและการแก้ไขปัญหา

## การตรวจเอกสาร

### การศึกษาลักษณะ การเกิด และอิทธิพลของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

#### สถานะแวดล้อมที่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันสูงกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

ในระบบไฟฟ้ากำลังมีตำแหน่งที่มีสถานะแวดล้อมที่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันสูงได้ 2 จุด ที่ควรจะได้รับการพิจารณา แต่การประยุกต์ใช้งานไม่ควรจำกัดอยู่ที่ 2 ตำแหน่งนี้เท่านั้น

#### 1. สถานีไฟฟ้ากำลัง

โดยทั่วไปภายในสถานีไฟฟ้ามีการออกแบบระบบกราวด์กริดอย่างดี เพื่อให้โครงสร้างเหล็กต่างๆ ภายในสถานีที่จะต้องมีการต่อลงดินสามารถที่จะต่อสายตัวนำไปถึงจุดต่อร่วมของกริด ดังนั้น ก็จะสามารถทำให้ความต่างศักย์ภายในระบบระหว่างที่มีฟ้าผ่าลงหรือเกิดฟอลต์ทางไฟฟ้า กำลัง เพื่อที่สามารถลดความต่างศักย์ภายในระบบระหว่างที่มีฟ้าผ่าลงหรือเกิดฟอลต์ทางไฟฟ้า กำลังให้น้อยลงได้

อย่างไรก็ตาม ความต่างศักย์ระหว่างระบบต่อลงดินในสถานีกับระบบการต่อลงดินอื่นๆ ที่อยู่ไกลออกไปอาจจะมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งจะมีผลทำให้มีกระแสเสิร์จไหลผ่านเคเบิลโทรคมนาคม ที่เข้าไปภายในสถานีไฟฟ้ากำลัง (IEEE Std 487, 2000)

#### 2. เสาไฟฟ้าของระบบสายส่งและระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า

เสาของระบบส่งหรือเสาของระบบจำหน่ายจะใช้ระบบแท่งกราวด์ที่มีขนาดเล็กกว่า การจัดวางโดยทั่วไปจะใช้แท่งกราวด์ตลอด 1 แท่งต่อขาของเสาส่ง 1 ขา ดังนั้นระบบการต่อลงดินที่เสาส่งหรือเสาของระบบจำหน่าย ส่วนมากจะมีค่าความต้านทานของดินสูงกว่าค่าความต้านทานดินที่สถานีไฟฟ้า นอกจากนี้สายส่งไฟฟ้ามีค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกฟ้าผ่าลงสูงกว่า ดังนั้นจึงเพิ่มโอกาสของการเกิดฟอลต์ เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายส่งหรือเสาของระบบส่ง ก็จะมีบางส่วนของกระแสเสิร์จจะไปไหลในเคเบิลโทรคมนาคมซึ่งเป็นเส้นทางหนึ่งที่เข้าไปในสถานะแวดล้อมเหล่านี้

ตำแหน่งสถานที่ดังที่กล่าวมาเหล่านี้ เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังหรือเกิดฟ้าผ่า จำนวนกระแสทั้งหมดหรือบางส่วนจะไหลผ่านดินและผ่านกราวด์อิเล็กโทรดและจะก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าซึ่งตกคร่อมกราวด์อิเล็กโทรด ซึ่งโดยพื้นฐานก็เป็นไปตามกฎของโอห์ม ความต่างศักย์นี้ถูกเรียกว่า กราวด์โพเทนเชียลไรส์ กระแสฟอลต์อาจจะเป็นแบบสมมาตร หรือ แบบไม่สมมาตร ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของระบบไฟฟ้ากำลังเช่นมุมเฟสของแรงดันที่จุดเกิดฟอลต์,ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์,กราวด์อิมพีแดนซ์ และอื่นๆ ค่ากราวด์อิมพีแดนซ์ขึ้นอยู่กับรูปร่างของกราวด์อิเล็กโทรด,การเชื่อมต่อของมัน และค่าความต้านทานจำเพาะของดินในพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานีกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สถานีไฟฟ้าอาจจะถูกทำให้ต่ำลงเพราะลักษณะการเชื่อมต่อของมันเป็นกับ จุดกราวด์ที่อยู่ไกลออกไป เช่นโดย สายโอเวอร์เฮดกราวด์,สายนิวทรัล,สายยึดโยงของเคเบิลโทรศัพท์หรือแม้แต่ทางรถไฟ ฯลฯ การเชื่อมต่อเหล่านี้ส่งผลต่อการกระจายของกระแสฟอลต์ผ่านเส้นทางที่เป็นระบบกราวด์ และเช่นกันก็ส่งผลถึงค่ากราวด์อิมพีแดนซ์รวมเมื่อเทียบกับคอมมอนเอิร์ธด้วย (IEEE Std 487, 2000)

## การเชื่อมโยง

การเชื่อมโยง หมายถึง การแผ่กระจายของพลังงานจากระบบหนึ่งไปรบกวนอีกระบบหนึ่ง ซึ่งในที่นี้การเชื่อมโยงจะหมายถึงการแผ่กระจายของพลังงานไฟฟ้ากำลังไปรบกวนระบบโทรคมนาคม ซึ่งมี 3 รูปแบบคือ

### 1. การเชื่อมโยงทางการเหนี่ยวนำ

ในสถานะทั่วไปของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไหลก็จะมีเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ และเส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็จะไปคล้อยกับสายส่งสัญญาณโทรศัพท์ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้เงื่อนไขสถานะการเกิดฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงของทั้ง 2 ระบบนี้ที่ขนานกันไปเป็นระยะทางไกลๆ จะต้องถูกพิจารณา กระแสฟอลต์ที่ไหลในสายไฟฟ้าไปลงกราวด์ ก็จะมีการเหนี่ยวนำทางเส้นแรงแม่เหล็กกับวงจรส่งสัญญาณโทรศัพท์ของระบบโทรคมนาคมทำให้มีกระแสเหนี่ยวนำไหลในสายที่ถูกเหนี่ยวนำและทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่สายที่ถูกเหนี่ยวนำดังกล่าว

แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ระบบโทรศัพท์ เท่ากับ กระแสในระบบไฟฟ้ากำลังในที่นี้หมายถึงกระแสฟอลต์ คูณกับ ค่าอิมพีแดนซ์รวมของทั้งสองระบบ

กระแสเหนี่ยวนำจากกระแสฟอลต์ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์และคุณสมบัติของระบบไฟฟ้ากำลัง

อิมพีแดนซ์ร่วม ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเช่น ความถี่, ระยะทางที่ทั้งสองระบบขนานกันไป , ระยะห่างของสายของทั้งสองระบบ , ค่าความต้านทานจำเพาะของดินและ ซิลดิงคอนดักเตอร์ ในสถานะเงื่อนไขที่พิจารณาว่าดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน(non homogenous) การที่มีซิลดิงคอนดักเตอร์ และค่าความต้านทานเทียบกราวด์ของซิลดิงคอนดักเตอร์ ทำให้โดยทั่วไปเป็นการยากที่จะแสดงคุณลักษณะได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม มันมีผลกระทบเพียงพื่อต่อผลของระดับแรงดันเหนี่ยวนำ ดังนั้นค่าที่แท้จริงกับค่าโดยประมาณของค่าแรงดันเหนี่ยวนำอาจจะแตกต่างกันมากนั้นก็เพราะว่าไม่ใช่ตัวแปรทุกตัวที่สามารถประเมินค่าได้อย่างแท้จริงหรือแม่นยำ (IEEE Std 487, 2000)

## 2. การเชื่อมโยงทางความจุไฟฟ้า

ปัญหาที่เกิดจากการเชื่อมโยงทางความจุไฟฟ้าระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังกับสายเคเบิลโทรศัพท์ มีน้อยมากเนื่องจากสายเคเบิลโทรศัพท์จะมีโล่กำบังและถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้นจึงละเลยผลของการเชื่อมโยงทางความจุไฟฟ้าได้

## 3. การเชื่อมโยงทางรีซิสติฟ

การเชื่อมโยงทางรีซิสติฟ หรือการต่อถึงกันโดยตรงอาจจะผ่านหรือไม่ผ่านค่าความต้านทาน โดยที่ระบบกราวด์ของระบบไฟฟ้ากำลังกับระบบโทรคมนาคมถูกต่ออยู่ร่วมกันหรือโดยที่กราวด์ทั้งหลายถูกเชื่อมโยงถึงกันเนื่องจากความใกล้ชิดของกราวด์ทั้งหลาย

โดยทั่วไป สำหรับการให้บริการโทรคมนาคมทางสายทองแดง สามารถลดผลของการเชื่อมโยงทางรีซิสติฟด้วยการหลีกเลี่ยงการใช้จุดต่อกราวด์ร่วมกันกับกราวด์ของระบบไฟฟ้า สำหรับกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ถือเป็นการเชื่อมโยงทางรีซิสติฟ (IEEE Std 487, 2000)

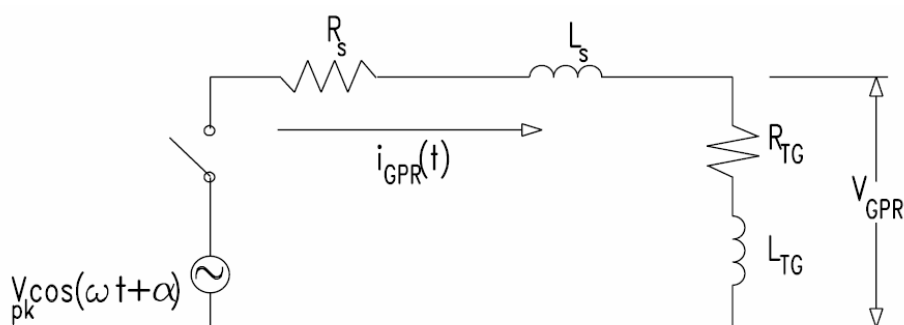
## การรบกวน

การรบกวนจากระบบไฟฟ้ากำลังไปยังระบบโทรคมนาคมจากการเชื่อมโยงดังกล่าวข้างต้นสามารถจำแนกได้เป็น 5 ชนิด

- 1.) กราวด์โพเทนเชียลไรส์
- 2.) การเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้ากำลัง
- 3.) การเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า
- 4.) สวิตช์ลัด
- 5.) การรบกวนจากแหล่งอื่นๆ

#### 1. กราวด์โพเทนเชียลไรส์

ผลผลิตของค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์อิเล็กทรอนิกส์และกระแสฟอลต์ซึ่งไหลผ่านกราวด์อิเล็กทรอนิกส์ (ตามกฎของโอห์ม  $V_{GPR} = IZ$ ) (IEEE Std 487, 2000)



ภาพที่ 1 วงจรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณกราวด์โพเทนเชียลไรส์

ที่มา: IEEE487 (2000)

จากภาพที่ 1 กระแสที่ทำให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ ซึ่งเกิดขึ้นจากส่วนของกระแสฟอลต์ที่ไหลกลับมายังแหล่งจ่ายผ่านอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้า กระแสกราวด์โพเทนเชียลไรส์ก็คือกระแสฟอลต์นั่นเองซึ่งหาได้จาก

$$i_{GPR(t)} = \frac{V_{pk}}{\sqrt{(R_s + R_{TG})^2 + \omega^2 (L_s + L_{TG})^2}} [\cos(\omega t + \alpha - \theta) - \cos(\alpha - \theta)e^{-\beta t}] \quad \text{แอมแปร์} \quad (1)$$

โดยที่

$$\beta = \frac{R_s + R_{TG}}{L_s + L_{TG}} \cong \frac{R}{L}$$

$$\omega = 2\pi f = 314.17 \text{ rad./s} \text{ ที่ } 50 \text{ Hz}$$

$$\alpha = \text{มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์ (เรเดียน)}$$

$$R_s = \text{ค่าความต้านทานที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบ (โอห์ม)}$$

$$L_s = \text{ค่าอินดักแตนซ์ที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์ของระบบ (โอห์ม)}$$

$$R_{TG} = \text{ค่าความต้านทานรวมของกราวด์ ณ.จุดที่กราวด์โพเทนเชียลไรส์เกิด (โอห์ม)}$$

$$L_{TG} = \text{ค่าอินดักแตนซ์รวมของกราวด์ ณ.จุดที่กราวด์โพเทนเชียลไรส์เกิด (โอห์ม)}$$

$$V_{pk} = \text{ค่าสูงสุดของรูปคลื่นแรงดัน (โวลท์)}$$

$$I_{GPR(t)} = \text{กระแสฟอลต์ที่ไหลผ่านกราวด์ิมพีแดนซ์ (แอมแปร์)}$$

$$\theta = \text{มุมระหว่างค่าอินดักตีฟรีแอคแตนซ์ต่อค่ารีซิสแตนซ์ของระบบ}$$

$$t = \text{ค่าคงที่ของเวลา}$$

ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่ตกคร่อม  $R_{TG} + L_{TG}$  หาได้จาก

$$V_{GPR}(t) = R_{TG} i_{GPR}(t) + L_{TG} \frac{di_{GPR}(t)}{dt} \quad \text{โวลท์}$$

$$\frac{di_{GPR}(t)}{dt} = \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ -\omega \sin(\omega t + \alpha - \theta) + \beta \cos(\alpha - \theta) e^{-\beta t} \right] \quad \text{แอมแปร์} \quad (2)$$

$$\therefore V_{GPR(t)} = \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ R_{TG} \cos(\omega t + \alpha - \theta) - R_{TG} \cos(\alpha - \theta) e^{-\beta t} \right. \\ \left. + \omega L_{TG} \sin(\omega t + \alpha - \theta) + \beta L_{TG} \cos(\omega t + \alpha - \theta) \right] \quad \text{โวลท์}$$

$$= \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ R_{TG} \cos(\omega t + \alpha - \theta) + \omega L_{TG} \sin(\omega t + \alpha - \theta) \right. \\ \left. - \cos(\alpha - \theta) (R_{TG} - \beta L_{TG}) e^{-\beta t} \right] \quad \text{โวลท์} \quad (3)$$

$$|Z| = \sqrt{(R_s + R_{TG})^2 + \omega^2 (L_s + L_{TG})^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad \text{โอห์ม} \quad (4)$$

ทำให้ง่ายขึ้นโดยให้

$$|Z_{TG}| \cong \sqrt{R_{TG}^2 + \omega^2 L_{TG}^2}; \cos \theta_{TG} \cong \frac{R_{TG}}{|Z_{TG}|}; \sin \theta_{TG} \cong \frac{\omega L_{TG}}{|Z_{TG}|} \quad \text{โอห์ม} \quad (5)$$

$$\therefore R_{TG} = \cos \theta_{TG} |Z_{TG}| \quad (6)$$

$$\omega L_{TG} = \sin \theta_{TG} |Z_{TG}| \quad (7)$$

$$\text{ให้ } \omega t + \alpha - \theta = a$$

$$V_{GPR(t)} = \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ |Z_{TG}| \cos(\omega t + \alpha - \theta + \theta_{TG}) - \cos(\alpha - \theta)(R_{TG} - \beta L_{TG}) e^{-\beta t} \right] \quad \text{โวลท์}$$

$$= \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ |Z_{TG}| (\cos \theta_{TG} + a) - \cos(\alpha - \theta)(R_{TG} - \beta L_{TG}) e^{-\beta t} \right] \quad \text{โวลท์}$$

$$= \frac{V_{pk}}{|Z|} \left[ |Z_{TG}| (\cos \theta_{TG} \cos a) - \sin \theta_{TG} \sin a - \cos(\alpha - \theta)(R_{TG} - \beta L_{TG}) e^{-\beta t} \right] \quad \text{โวลท์} \quad (8)$$

โดยที่

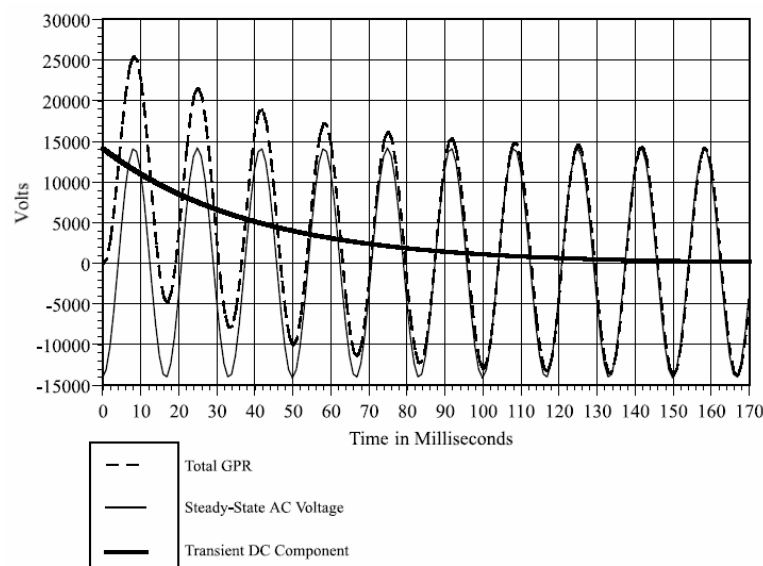
$$\theta_{TG} = \tan^{-1} \frac{\omega L_{TG}}{R_{TG}} \quad (9)$$

นิพจน์ของค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์มี 2 องค์ประกอบได้แก่ องค์ประกอบในสภาวะอยู่ตัวและสภาวะปรับตัวชั่วคราว (ดีซี ออฟเซต) ค่าL/R คือค่าส่วนกลับของค่าคงที่เวลาในสภาวะปรับตัวชั่วคราว เมื่อคูณด้วยค่าความถี่เชิงมุม( $\omega$ ) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือค่า อัตราส่วนของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์ (X/R Ratio) ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มองจากจุดที่เกิดฟอลต์เข้ามาหาแหล่งกำเนิด ค่าอัตราส่วนของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์จะเป็นตัวบอกช่วงเวลาการลดลงของสภาวะปรับตัวชั่วคราวกระแสตรง ภายใต้สภาวะการเกิดฟอลต์แบบหนึ่งเฟสลงดิน ค่าอัตราส่วนของอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์อาจจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 2 สำหรับระบบแรงดันต่ำ และอาจสูงถึง 75 สำหรับระดับระบบไฟฟ้าที่ระดับแรงดันExtra-high voltage (ระดับแรงดันสูงกว่า 245 kV – 765 kV)



ค่าสูงสุดของรูปคลื่นลูกแรกของส่วนที่เป็นสภาวะปรับตัวชั่วคราว และ ค่าสูงสุดของ กราฟด์ิโพนเเชิลไรซ์ ขึ้นอยู่กับค่าของ  $\cos(\alpha-\theta)$  โดยที่ มุม  $\theta$  ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ RLC ของ ระบบไฟฟ้ากำลัง ,  $\alpha$  มุมเฟสของแรงดันที่จุดเริ่มเกิดฟอลต์ ดังนั้นมุมเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยควบคุม ขนาดของแรงดันสภาวะปรับตัวชั่วคราวนี้ สำหรับค่าอัตราส่วนของอินดักทีฟ รีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์ที่มีค่ามากๆ มุม  $\theta$  จะเข้าใกล้  $\pi/2$  เรเดียน และค่ามุม  $\alpha$  ที่ก่อให้เกิดค่าแรงดันออฟเซตสูงสุด จะเกิดขึ้นเมื่อมุมเฟส  $\alpha$  มีค่าใกล้ 0 เรเดียน

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่ากราฟด์ิโพนเเชิลไรซ์ประกอบด้วยสององค์ประกอบ คือ องค์ประกอบสภาวะสงบและองค์ประกอบของสภาวะปรับตัวชั่วคราวกระแสตรง ค่าสูงสุดของ สภาวะปรับตัวชั่วคราวกระแสตรงอยู่ระหว่างศูนย์ถึงค่าสูงสุดของค่าองค์ประกอบสภาวะอยู่ตัว ซึ่ง ขึ้นอยู่กับเวลา,อัตราส่วนของอินดักทีฟ รีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์ (X/R Ratio) ของระบบไฟฟ้า กำลังที่มองจากจุดที่เกิดฟอลต์เข้ามาหาแหล่งกำเนิด และมุมเฟสของแรงดัน แหล่งจ่ายที่จุดเริ่มเกิด ฟอลต์ อัตราการลดลงขององค์ประกอบสภาวะปรับตัวชั่วคราวกระแสตรง ก็หามาได้จากอัตราส่วน ของอินดักทีฟ รีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์ เช่นกันเมื่อรวมทั้งสององค์ประกอบแล้วจะทำให้ค่าสูงสุด มีค่าต่ำกว่าสองเท่าของค่าสูงสุดขององค์ประกอบกระแสสลับ ภาพที่ 2 แสดงรูปคลื่นกราฟด์ิโพนเเชิลไรซ์ที่มีทั้งองค์ประกอบกระแสสลับและองค์ประกอบกระแสตรง (IEEE Std 487, 2000)



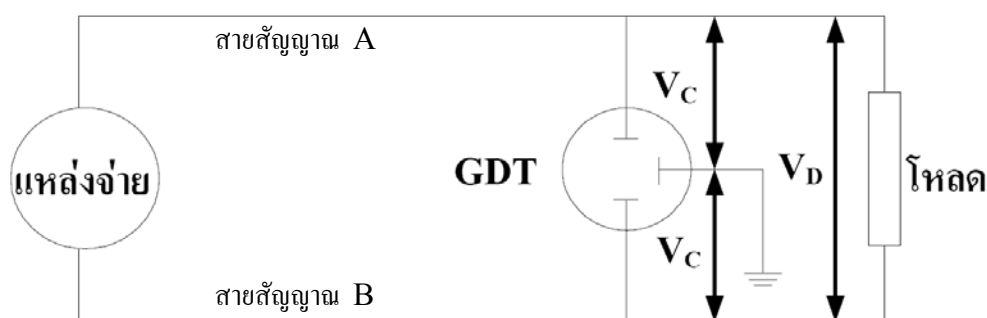
ภาพที่ 2 แสดงรูปคลื่นของกราฟด์ิโพนเเชิลไรซ์ที่ไม่สมมาตร

ที่มา: IEEE487 (2000)

## 2. การเหนี่ยวนำตามแนวยาว (Longitudinal induction)

การให้บริการสื่อสารโทรคมนาคมทางสาย โดยทั่วไปจะมีความใกล้ชิดกับสายของระบบไฟฟ้ากำลัง และขนานกันไปเป็นระยะทางไกล ดังนั้นผลจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลของกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังทั้งในสภาวะปกติและสภาวะการเกิดฟอลต์สามารถไปคล้อยกับสายของระบบสื่อสารโทรคมนาคมทางสายเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่สายสื่อสารนั้นได้ (IEEE Std 487, 2000)

แต่ทั้งนี้จากการศึกษา ทำให้ทราบว่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้ากำลังทั้งในสภาวะปกติและสภาวะการเกิดฟอลต์ไม่มีผลต่อคู่สายโทรศัพท์เพราะคู่สายโทรศัพท์ TIP RING ได้รับการเหนี่ยวนำในระดับที่เท่ากันจึงทำให้แรงดันโหมดผลต่างไม่สูงมากนัก ส่วนแรงดันโหมดผลรวมจะมีค่าสูง แต่เนื่องจากระบบโทรศัพท์ถูกใช้งานในโหมดผลต่างจึงทำให้แรงดันเกินในโหมดผลรวมไม่มีผลต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น นอกเสียจากว่าคู่สายโทรศัพท์เส้นใดเส้นหนึ่งสัมผัสกับกราวด์จึงทำให้แรงดันโหมดผลรวมไปปรากฏที่คู่สายTIP RINGซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ปลายทางทั้งสองหรือผู้ใช้บริการหรือผู้ปฏิบัติงานได้ (ประมุข และคณะ, 2549)



ภาพที่ 3 แรงดันโหมดผลต่างและแรงดันโหมดผลรวม

จากรูป

$$V_D = \text{แรงดันโหมดผลต่าง}$$

$$V_C = \text{แรงดันโหมดผลรวม}$$

โดยที่

แรงดันโหมดผลต่าง หมายถึง แรงดันที่ปรากฏที่คู่สาย A B โดยที่ A หรือ B ไม่ได้ถูกต่อลงกราวด์

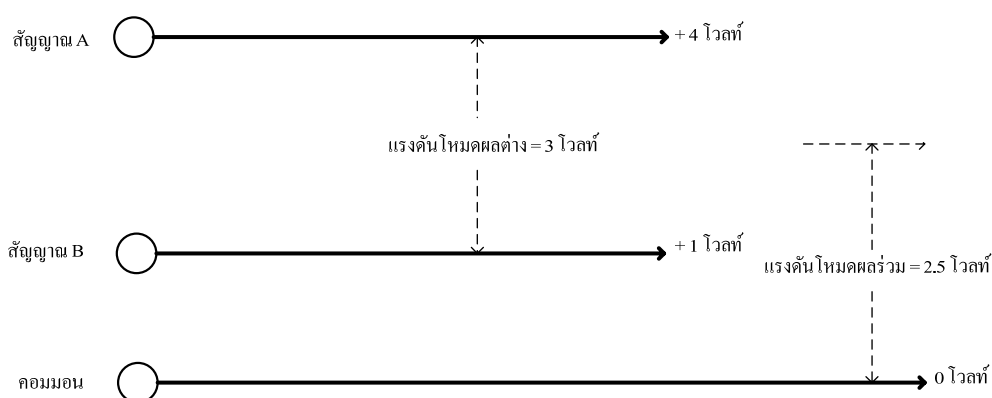
แรงดันโหมดผลรวม หมายถึง แรงดันที่ปรากฏที่คู่สาย A B เส้นใดเส้นหนึ่งแต่ละเส้นเทียบกับกราวด์ โดยที่ A หรือ B ไม่ได้ถูกต่อลงกราวด์ หรืออาจกล่าวได้ว่าแรงดันโหมดผลรวมคือค่าเฉลี่ยของแรงดัน 2 ค่า เทียบกับกราวด์ (Maxim Integrated Products, Dallas Semiconductor, 2003)

$$V_c = \frac{V_A + V_B}{2} \quad (10)$$

โดยที่

$V_A$  = แรงดันสัญญาณ A เทียบกับกราวด์

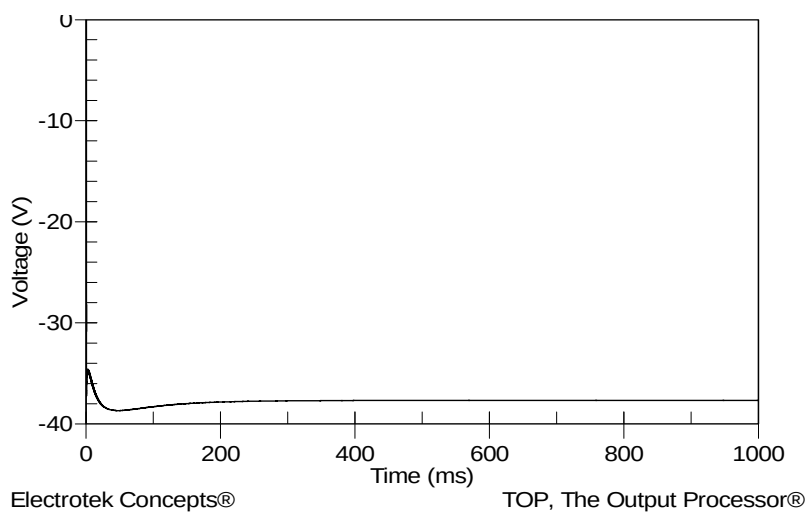
$V_B$  = แรงดันสัญญาณ B เทียบกับกราวด์



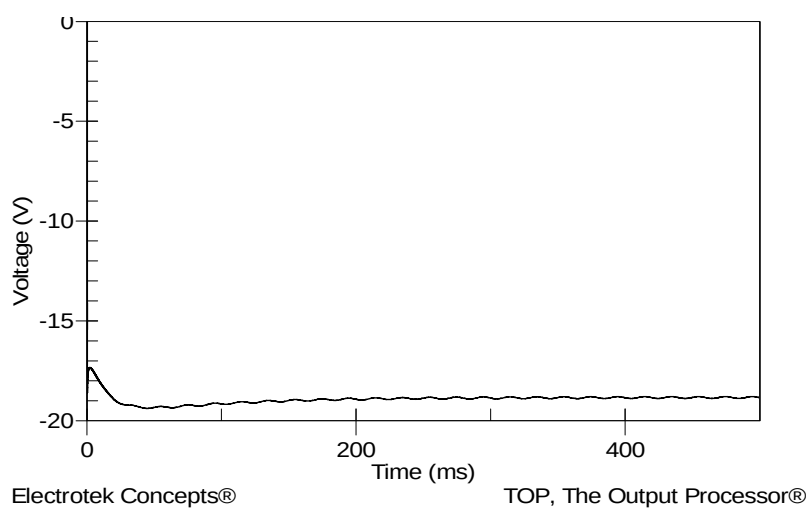
ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างนิยามของแรงดันโหมดผลต่างและแรงดันโหมดผลรวม

ที่มา: DALLAS SEMICONDUCTOR (2003)

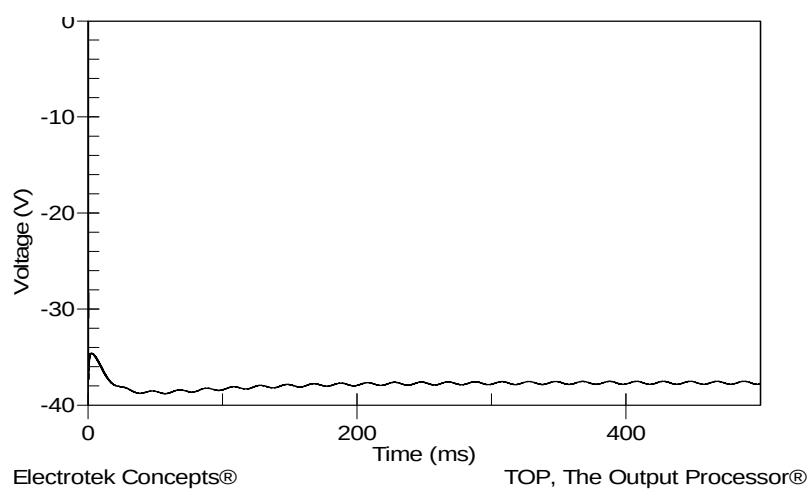
จากการศึกษาด้วยการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมEMTPทำการจำลองการเหนี่ยวนำจากระบบ22 KV และ115 KV ไปเหนี่ยวนำกับสายโทรศัพท์ชนิดที่ไม่มีโล่กำบัง(drop wire) ทำให้ได้ผลดังนี้ (ประมุข และคณะ, 2549)



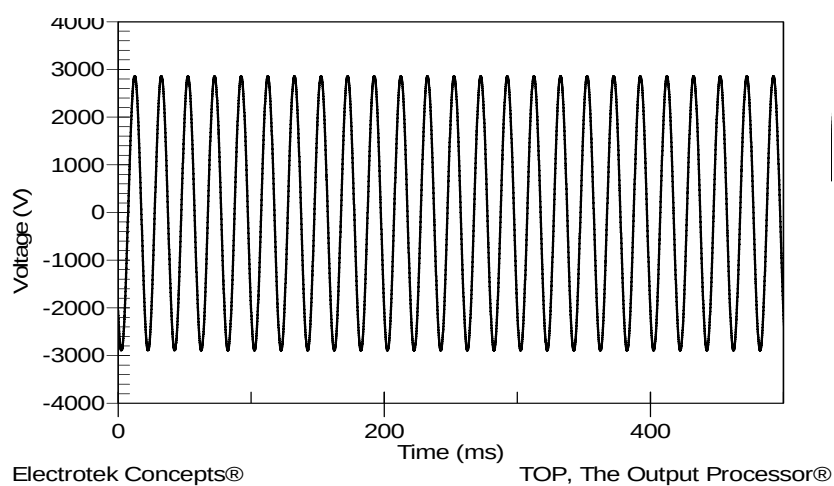
ภาพที่ 5 แรงดันโหมดผลต่างปกติของระบบโทรศัพท์



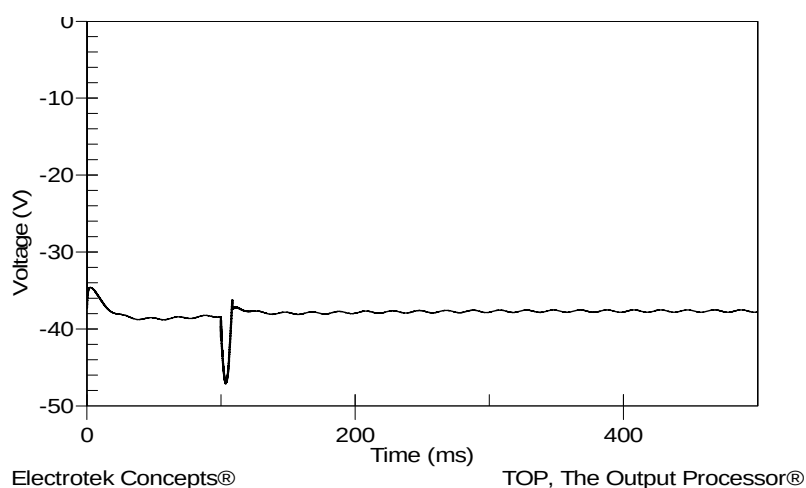
ภาพที่ 6 แรงดันโหมดผลรวมปกติของระบบโทรศัพท์



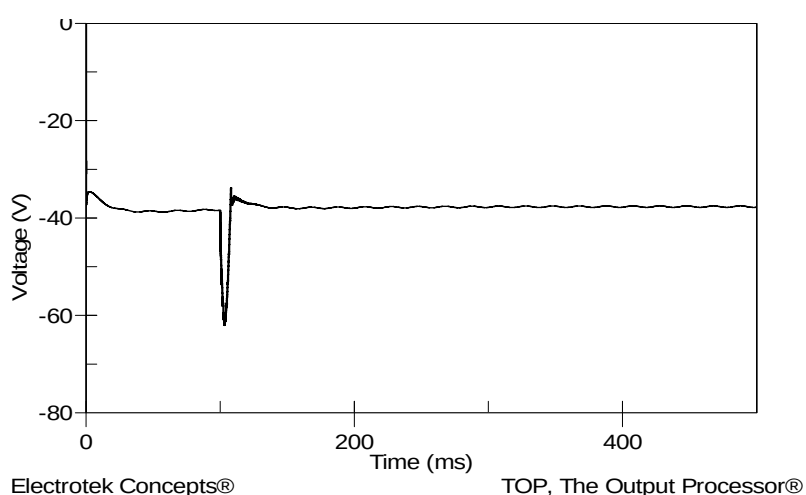
ภาพที่ 7 แรงดันโหมดผลต่างของระบบโทรศัพท์เมื่อถูกเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 8 แรงดันโหมดผลรวมของระบบโทรศัพท์เมื่อถูกเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 9 แรงดันโหมดผลต่างเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์ที่ระบบ 22 กิโลโวลต์



ภาพที่ 10 แรงดันโหมดผลต่างเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์ที่ระบบ 115 กิโลโวลต์

### 3. การเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

การวิเคราะห์สภาวะปรับตัวชั่วคราวและกราวด์โพเทนเชียลไรส์ของกระแสฟ้าผ่ามีความซับซ้อนมากกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่ความถี่พื้นฐาน จากทัศนคติของการป้องกันฟ้าผ่า มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 3 ค่า ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดฟ้าผ่า ขนาดค่ายอดของกระแสฟ้าผ่าและความ

ชั้นของหน้าคลื่นของรูปคลื่น พารามิเตอร์ตัวแรกอยู่ในรูปของ lightning flash density เป็นจำนวนครั้งต่อตารางกิโลเมตรภายในหนึ่งปี ตัวที่สองเป็นขนาดค่ายอดสูงสุดของกระแสฟ้าผ่ามีหน่วยเป็นกิโลแอมป์ และตัวสุดท้ายคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของหน้าคลื่นกระแสฟ้าผ่า จากการศึกษา รูปคลื่นฟ้าผ่าในหลายๆงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า จำนวนวันที่มีพายุฝนฟ้าคะนองมากกว่าจำนวน flash density ซึ่งค่าเชิงปริมาณทั้งสองที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลภาคสนามเป็นจำนวนซ้ำๆ หลายๆครั้ง แล้วนำมาเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการ ได้ดังนี้ (IEEE Std 487, 2000)

$$N_g = KT_d^{1.3} \quad (11)$$

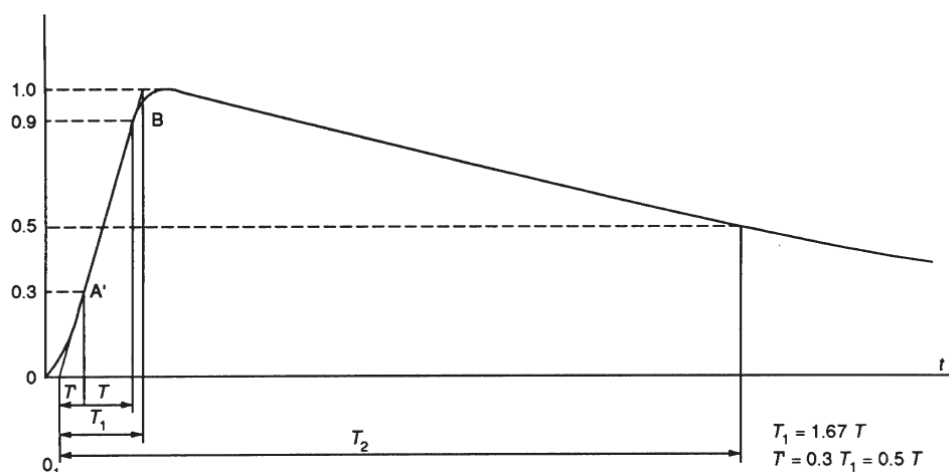
โดยที่

$$N_g = \text{ground flash density (flashes/(km}^2 \text{ year))}$$

$$T_d = \text{annual number of thunderstorm days,}$$

$$K = \text{constant that ranges from 0.023 to 0.04}$$

หลักเกณฑ์ทั่วไป สถานีไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าจะมีโอกาสถูกฟ้าผ่ามากกว่า อย่างไรก็ตามผลกระทบของกระแสฟ้าผ่าจะมีความรุนแรงน้อยกว่าเพราะถ้าฟ้าผ่าลงที่ระบบกักเก็บที่สถานีที่มีขนาดใหญ่กว่า พื้นที่และความหลากหลายของเส้นทางนำกระแสของกราวด์กริดและระบบกราวด์เช่นสายโอเวอร์เฮดกราวด์จะช่วยกระจายกระแสฟ้าผ่าไปได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าระบบกักเก็บเกิดชำรุด กระแสฟ้าผ่าทั้งหมดก็จะไหลลงดินผ่านกราวด์กริดและสร้างกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่มีขนาดใหญ่ แรงดันและกระแสฟ้าผ่าที่แปรค่าตามช่วงเวลาที่เกิดอยู่ในย่านของหน่วยมิลลิวินาที รูปคลื่นของแรงดันฟ้าผ่าแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงนิยามของรูปคลื่นอิมพัลส์แรงดัน

ที่มา: IEEE487 (2000)

จากรูปแสดงว่าแรงดันฟ้าผ่าจะมีความชันหน้าคลื่นสูงมาก และช่วงเวลาลดลงจะมีอัตราการลดลงน้อยกว่าความชันหน้าคลื่น แรงดันและกระแสฟ้าผ่าโดยทั่วไปถูกอธิบายด้วยจำนวนสองจำนวนคือ (IEEE Std 487, 2000)

ช่วงเวลาหน้าคลื่น โดยเริ่มจากศูนย์ที่แท้จริง(ความชันเดียวกัน)จนถึงค่าสูงสุด แสดงด้วย  $T_1$

ช่วงเวลาลังคลื่น โดยเริ่มจากศูนย์ที่แท้จริง(ความชันเดียวกัน)จนถึงค่าที่รูปคลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด แสดงด้วย  $T_2$

#### 4. สวิตช์เชิงเสิร์จ

ระบบแรงดันสูงสามารถก่อให้เกิดการรบกวนโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและแรงดันสถานะปรับตัวชั่วคราวเหนี่ยวนำในวงจรโทรคมนาคมที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า แรงดันสถานะปรับตัวชั่วคราวเหล่านี้ อาจเกิดจากการเกิดอาร์คของสวิตช์ตัดต่อวงจร โดยผู้ปฏิบัติงานหรือโดยอัตโนมัติเนื่องจากการเกิดฟอลต์



อย่างไรก็ตามการรบกวนจากสวิตชิงเสิร์จที่มีต่อระบบโทรศัพท์ก็มีการเชื่อมโยงทางการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อระบบโทรศัพท์มากนักเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวถึงเรื่องการเหนี่ยวนำจากระบบไฟฟ้ากำลัง

## 5. การรบกวนจากแหล่งอื่นๆ

การรบกวนจากความถี่สูงอื่นๆที่เกิดมาจากการรบกวนต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยทั่วไปไม่ได้รับรบกวนต่อการบริการทางสายของโทรศัพท์แต่อาจมีผลต่อการผิดเพี้ยนและการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่วิทยุและTV (IEEE Std 487, 2000)

### การคำนวณค่าที่แท้จริงของ กราวด์โพเทนเชียลไรส์ ที่สมมาตรและไม่สมมาตร

#### 1. กราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สถานีไฟฟ้ากำลัง

เพื่อการคำนวณค่าที่แท้จริงของแรงดันที่กราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าอาจจะเกิดขึ้น เทียบกับคอมมอนเอิร์ธ (หลังจากนี้จะเรียกว่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา) การพิจารณาควรดำเนินการดังต่อไปนี้ (IEEE Std 367, 1996)

1.1 ข้อมูลที่สมบูรณ์ของระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น อิมพีแดนซ์, กระแส และแรงดันสำหรับฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง, เส้นทางอื่นๆที่กระแสฟอลต์จะไหลกลับแหล่งกำเนิดของมันได้

1.2 ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ซึ่งทำให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ ที่มีค่าสูงที่สุด

1.3 ระยะเวลาและรูปคลื่นของทั้งแรงดันและกระแสสำหรับกรณีที่เป็นฟอลต์ที่รุนแรงที่สุด

1.4 ค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าและที่ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์

1.5 การคำนวณค่าที่ถูกต้องของกระแสฟอลต์ เนื่องจากผลกระทบทางการนำของส่วนการต่อลงดิน

## 1.6 การคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์

## 1.7 การลดลงของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ เนื่องจาก สายโอเวอร์เฮดกราวด์

## 2. กราวด์โพเทนเชียลไรซ์

เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ กระแสฟอลต์ลำดับศูนย์จะไหลกลับแหล่งกำเนิดซึ่งมีระบบกราวด์ โดยผ่านดิน และเช่นกันก็ไหลผ่านเส้นทางอื่นด้วย เช่น สายนิวทรัล, สายเฟสที่ไม่ได้เกิดฟอลต์, สายโอเวอร์เฮดกราวด์, สายยึดโยงและซิลล์ของเคเบิลโทรศัพท์ กราวด์ที่แหล่งกำเนิดไม่ว่าจะเป็น กราวด์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง, กราวด์ของเครื่องกำเนิด, คาปาซิเตอร์, ตัวปรับเปลี่ยนความถี่ ฯลฯ

กราวด์โพเทนเชียลไรซ์มีค่าเท่ากับค่ากราวด์อิมพีแดนซ์ของสถานีไฟฟ้าหรือแหล่งจ่าย คูณกับค่าบางส่วนของกระแสฟอลต์ที่ไหลผ่านมัน และเช่นกัน กราวด์โพเทนเชียลไรซ์ก็มีค่า เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ของเส้นทางอื่นๆที่บางส่วน(ส่วนที่เหลือ)ของกระแสฟอลต์ไหลผ่านเพื่อกลับสู่ แหล่งกำเนิดของมัน (IEEE Std 367, 1996)

## 3. ค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริด

เพราะว่าค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าหรือที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าใดๆ ที่เทียบกับคอมมอนเอิร์ธ มีความจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ดังนั้นค่า อิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดจะต้องหามาได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งคือ โดยการคำนวณหรือการวัด ซึ่ง จัดการโดยผู้ให้บริการไฟฟ้า (IEEE Std 367, 1996)

## 4. การศึกษากราวด์ฟอลต์

การศึกษากราวด์ฟอลต์ จะต้องทำในหลายๆกรณี เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งค่าที่สูงที่สุดของ กราวด์โพเทนเชียลไรซ์

ค่าอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้า เช่นเดียวกับ ค่ากราวด์ของสายโอเวอร์เฮด กราวด์และโครงข่ายกราวด์ของระบบโทรคมนาคม มีส่วนทำให้จำกัดกระแสฟอลต์ ดังนั้น จะต้องนำมาใช้ในการคำนวณนี้ด้วย (IEEE Std 367, 1996)

## 5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลัง

ในการศึกษาราวด์พอลต์นั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปถูกแทนด้วยค่า ขั้วทรานเซียน รีแอกแตนซ์ เนื่องจากช่วงเวลาตั้งแต่เกิดพอลต์จนกระทั่งพอลต์ถูกกำจัด ค่ารีแอกแตนซ์เหล่านี้จะเพิ่มจนถึงค่าสภาวะปรับตัวชั่วคราว และอาจจะเข้าสู่ค่า ชิงโครนัสรีแอกแตนซ์ในสภาวะสงบ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถที่จะละเลยได้ในหลายๆกรณี และค่าขั้วทรานเซียน รีแอกแตนซ์ในสภาวะเริ่มแรกมักจะถูกใช้เป็นประจำ ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมทั้งหมดจะถูกนำมาใช้ในการศึกษา เช่น ค่าอิมพีแดนซ์สายส่ง (IEEE Std 367, 1996)

## 6. DC offset

จุดสูงสุดของรูปคลื่นลูกแรกของ ดีซี ออฟเซต จะต้องถูกคำนวณในลักษณะความสัมพันธ์ของจุดสูงสุดของแรงดัน ณ เวลาที่เกิดพอลต์แล้ว ค่าสูงสุดของ ดีซี ออฟเซต เกิดขึ้นเมื่อกระแสพอลต์เปลี่ยนแปลงจากเวลาที่ก่อนเริ่มเกิดพอลต์พอดี ถึงเวลาที่หลังพอลต์เริ่มเกิดไปแล้ว ซึ่งก็คือค่าสูงสุด

เพราะว่ากระแสกลับไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้อย่างทันทีทันใดเนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ของวงจร จากนั้นค่าดีซีออฟเซต จะลดลงสู่ศูนย์ในอัตราที่ได้คำนวณจากอัตราส่วนของ เอฟเฟกตีฟ รีแอกแตนซ์-อิมพีแดนซ์ ของวงจรไฟฟ้า ณ.จุดที่เกิดพอลต์

สถานะของวงจรไฟฟ้าที่มีค่าอินดักตีฟสูง ค่าดีซี ออฟเซต จะสูงสุดเมื่อพอลต์เกิดขึ้นที่จุดของรูปคลื่นแรงดันอยู่ตรงจุดศูนย์พอดี เนื่องจากรูปคลื่นกระแสจะมีค่าสูงที่สุด แต่ทั้งนี้ก็เป็นเงื่อนไขที่ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกัน วงจรที่มีค่าอินดักตีฟสูงๆจะมีช่วงระยะเวลาการเกิดดีซีออฟเซตที่ยาวขึ้น

ศักย์ไฟฟ้าที่คืนที่เกิดจากกระแสพอลต์ไหลผ่านกราวด์กริดแตกต่างจากแรงดันเหนี่ยวนำเชิงสนามแม่เหล็ก โดยองค์ประกอบกระแสตรงในสภาวะปรับตัวของกระแสกราวด์พอลต์ มีขนาดลดลงเชิงเอ็กซ์โปเนนเชียลกับเวลา (IEEE Std 367, 1996)

สมการสำหรับหาค่ากระแส ณ.ขณะเวลาใดๆ โดยพิจารณาทั้งส่วนที่เป็นsymmetrical และส่วนที่เป็นดีซีออฟเซต คือ

$$i = i_{ac} + i_{dc} = I[\sin(\omega t + \phi + \theta) - e^{\frac{-(Rt)}{L}} \sin(\phi - \theta)] \quad \text{แอมแปร์} \quad (12)$$

โดยที่

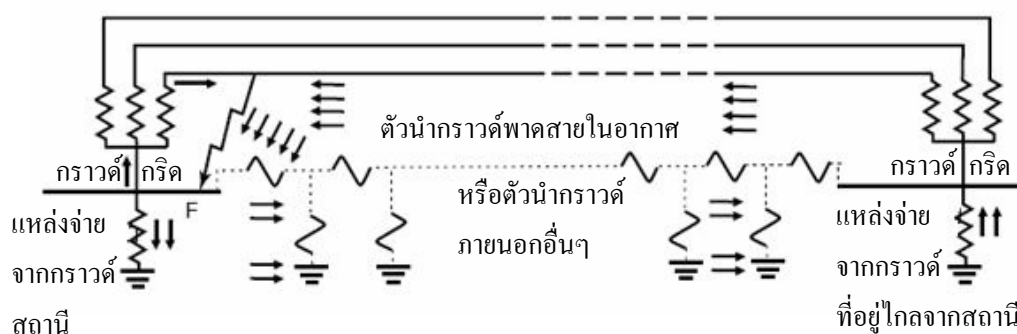
- $\phi$  คือ มุมเฟสของรูปคลื่นแรงดันแหล่งจ่ายในขณะที่เกิดฟอลต์
- $\theta$  คือ มุมเฟส คัดคำนวณจากค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย
- $i$  คือ ผลรวมของกระแสฟอลต์ตามรูปคลื่น
- $i_{ac}$  คือ กระแสฟอลต์ในส่วนที่เป็นองค์ประกอบกระแสสลับ
- $i_{dc}$  คือ กระแสฟอลต์ในส่วนที่เป็นองค์ประกอบกระแสตรง
- $I$  คือ ค่ายอดของกระแสสมมาตร
- $t$  คือ เวลานับตั้งแต่ทันทีที่เริ่มเกิดฟอลต์ หรือ  $t = 0$  ที่มุม  $90^\circ$  ก่อนถึงจุดกระแสศูนย์

สำหรับกรณีค่าแรงดันเหนี่ยวนำนั้นองค์ประกอบกระแสตรงมีผลต่อค่าแรงดันเหนี่ยวนำน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะแรงดันเหนี่ยวนำแปรผันตามอัตรา  $di/dt$  อัตราการลดลงขององค์ประกอบกระแสตรงโดยทั่วไปอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 5 – 40 มิลลิวินาที และมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราส่วน  $X/R$  เชิงประสิทธิผลของระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณา (IEEE Std 367, 1996)

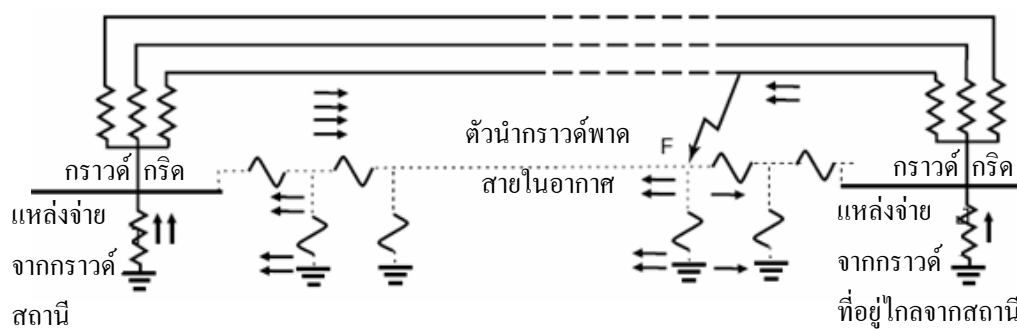
## 7. ความแตกต่างหลายรูปแบบของการเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

สถานะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังอาจแบ่งได้เป็น 4 รูปแบบที่แตกต่างกันที่ควรจะได้รับการพิจารณาเพื่อการคำนวณหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ สำหรับแต่ละตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ลงดิน แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่รุนแรงที่สุดเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาทำความเข้าใจ เราจะพิจารณาสายส่งไฟฟ้าวงจรเดี่ยว 3 เฟสที่มีแหล่งจ่ายจากกราวด์ 2 แหล่ง ดังแสดงในภาพที่ 12 ถึง 15 แหล่งจ่ายจากกราวด์ที่อยู่ด้านสถานีไฟฟ้าสามารถจ่ายกระแสไปสู่จุดที่เกิดฟอลต์ และมีกระแสไหลกลับมาครบวงจรรอบที่นี้ผ่านเส้นทางของดิน และผ่านเส้นทางของสายตัวนำโลหะอื่นๆที่เป็นไปได้ แหล่งจ่ายจากกราวด์รวมถึงหม้อแปลงที่ต่อขดลวดแบบวายซึ่งมีการต่อสายตัวนำจากจุดนิวทรัลลงดิน หม้อแปลงออโต้ที่ต่อลงดิน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อลงดินด้วย (IEEE Std 367, 1996)

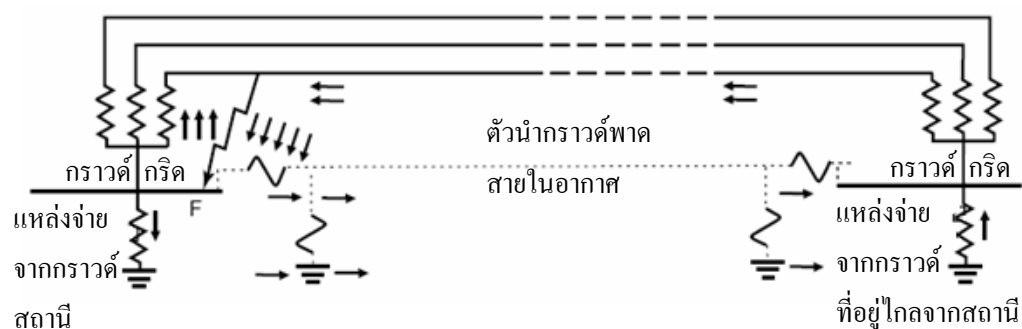
จากภาพที่ 12 ถึง 15 แสดงถึงความแตกต่าง 4 เงื่อนไขของการเกิดกราวด์ฟอลต์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ ที่สถานีไฟฟ้าที่กำลังพิจารณา ตามรูปเป็นรูปแบบอย่างง่ายของวงจรเดียว 3 เฟส กับระบบกราวด์ที่สถานีทั้ง 2 แห่ง (IEEE Std 367, 1996)



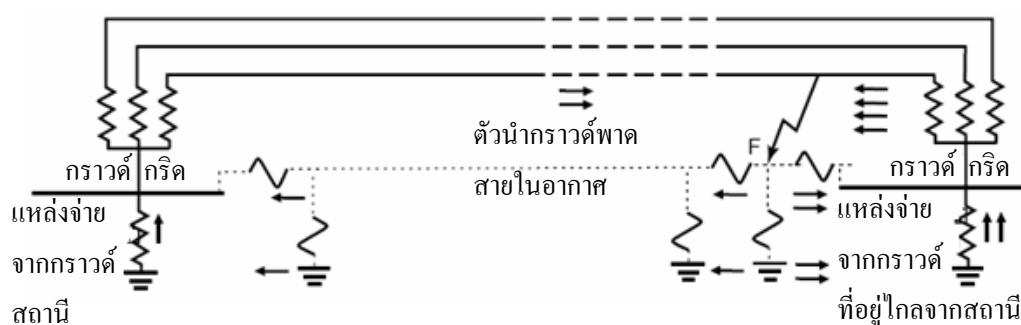
**ภาพที่ 12** แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดกราวด์ฟอลต์ลงดินที่กราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า โดยแหล่งจ่ายจากกราวด์ด้านที่อยู่ไกลจากสถานีป้อนกระแสเข้ามาในปริมาณที่มากกว่าที่ป้อนมาจากสถานีไฟฟ้า ในกรณีนี้กระแสที่ป้อนมาจากทางด้านสถานีไฟฟ้าจะไหลวนใน เส้นทางของกริดที่เป็นโลหะ โดยมีกระแสแยกไหลลงดินที่สถานีไฟฟ้าในปริมาณที่ไม่มาก ดังนั้นจึงมีส่วนในการก่อให้เกิดผลลัพธ์ค่า กราวด์โพเทนเชียลไรส์ ไม่สูงเกินไปนัก แต่กระแสฟอลต์ที่ป้อนมาจากแหล่งจ่ายจากกราวด์ด้านไกลจากสถานีมีปริมาณค่อนข้างมากและไหลกลับไปยังกราวด์ที่สถานีไกลผ่านดินและผ่านสายตัวนำต่างๆเท่าที่มีอยู่ กระแสฟอลต์ส่วนนี้มีส่วนในการก่อให้เกิดค่า กราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สถานีไฟฟ้าเป็นผลลัพธ์ที่ค่อนข้างสูง



**ภาพที่ 13** แสดงสถานการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับฟอลต์จากสายส่งลงดินในบริเวณใกล้แหล่งจ่ายกราวด์ ด้านไกลจากสถานี (ตำแหน่งของจุดที่เกิดฟอลต์อยู่นอกเขตอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์) โดยกระแสฟอลต์ส่วนใหญ่ป้อนมาจากแหล่งจ่ายจากกราวด์ด้านสถานีไฟฟ้า ในกรณีกระแสฟอลต์ลงดินไหลกลับไปยังแหล่งต้นทางเดิมของมันตามลำดับ โดยไหลผ่านดินและสายตัวนำโลหะกราวด์ต่างๆที่มีอยู่ทั้งหมด เนื่องจากแหล่งจ่ายที่สถานีไฟฟ้ามีส่วนป้อนกระแสฟอลต์ในปริมาณที่มากกว่า ดังนั้นจึงมีส่วนก่อให้เกิดค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ค่อนข้างสูง



**ภาพที่ 14** แสดงสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟอลต์จากสายตัวนำหนึ่งเฟสลงดินที่กราวด์กริด โดยแหล่งจ่ายกราวด์ด้านสถานีไฟฟ้ามีส่วนป้อนกระแสฟอลต์ในปริมาณที่มากกว่า แหล่งจ่ายกราวด์ด้านไกลจากสถานีไฟฟ้า กระแสที่ป้อนมาจากสถานีไฟฟ้าส่วนใหญ่จะ ไม่ไหลทะลุลงดินและจึงไม่ก่อให้เกิดค่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สูง และเช่นเดียวกัน กระแสจากแหล่งจ่ายกราวด์ด้านไกลจากสถานีก็มีส่วนป้อนกระแสฟอลต์ในปริมาณที่ไม่มากนัก กระแสฟอลต์ส่วนนี้ก็ไหลกลับไปจุดเริ่มต้นซึ่งก็ก่อให้เกิดผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่ค่อนข้างน้อย



**ภาพที่ 15** แสดงสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับฟอลต์จากสายตัวนำหนึ่งเฟสลงดินที่ด้านไกลจากสถานีไฟฟ้า โดยกระแสฟอลต์ส่วนใหญ่ป้อนมาจากกราวด์ด้านไกลจากสถานีไฟฟ้า กระแสฟอลต์นี้จะไหลกลับไปยังจุดเริ่มต้นผ่านดินและสายตัวนำต่างๆที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกระแสฟอลต์ที่ป้อนมาจากด้านไกลจากสถานีไฟฟ้ามีค่าปริมาณค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงมีส่วนในการก่อให้เกิดผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ค่อนข้างต่ำพอสมควร

ที่มา: IEEE367 (1996) (ภาพที่ 12 – 15)

#### 8. การหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดฟอลต์ที่รุนแรงที่สุด

สถานีไฟฟ้าชนิดชั้บซ้อนอาจจะมีจำนวนright-of-way (ROW) เป็นจำนวนมาก และมีสายส่งหลายๆวงจรในแต่ละROW วงจรเหล่านี้อาจจะมีระดับแรงดันที่แตกต่างกัน การศึกษาหาค่ากระแสฟอลต์สำหรับ ฟอลต์แบบหนึ่งเฟสลงดิน ที่ระดับแรงดันต่างๆเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องหา การศึกษากระแสฟอลต์แต่ละชนิดจะต้องพิจารณาดังนี้

ถ้าผลรวมของกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ทั้งหมดที่ไหลสู่บัสหม้อแปลงที่เกิดฟอลต์มาจากสายส่งและสายจำหน่ายทั้งหมดที่เข้าไปในสถานีที่กำลังศึกษามีมากกว่าผลรวมกระแสฟอลต์ที่มาจากกราวด์ทั้งหมดที่สถานีไฟฟ้าที่กำลังศึกษา ดังนั้นที่ระดับแรงดันซึ่งกระแสฟอลต์ที่ได้จากการศึกษาถูกนำมาพิจารณา ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ในกรณีนี้การเกิดฟอลต์ที่บัสจะเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่รุนแรงที่สุดมากกว่าการเกิดฟอลต์ที่สาย (IEEE Std 367, 1996)

ถ้าในสถานการณ์ที่ตรงข้ามกันซึ่งผลรวมกระแสที่มาจากสายทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าผลรวมกระแสที่ไหลผ่านกราวด์ที่สถานีที่พิจารณา จะทำให้การเกิดฟอลต์ที่สายสามารถก่อให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าการเกิดฟอลต์ที่บัส ทั้งนี้ก็เพราะว่ากระแสกราวด์ที่สถานี



ที่พิจารณาจะไหลกลับมาเพียงบางส่วน ในกรณีการเกิดฟอลต์ที่สาย กระแสไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของกราวด์จะทำให้เพิ่มขนาดของ กราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่มีสาเหตุมาจาก ข้อ ก. โดยกระแสจะไหลมาจากสาย ในกรณีการเกิดฟอลต์ที่บัส กระแสจะไหลเวียนผ่านเพียงแค่ขดลวดหม้อแปลงที่เกิดฟอลต์ กราวด์บัสที่สถานี และอิมพีแดนซ์ที่มองจากจุดฟอลต์ เท่านั้น (IEEE Std 367, 1996)

เมื่อได้พยายามหาตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ที่มีผลลัพธ์ของค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์มากที่สุด (ซึ่งอาจจะเป็นการเกิดฟอลต์ที่บัสของสถานีหรือการเกิดฟอลต์จากสายตัวนำเฟสลงดินที่เสาไฟฟ้าต้นใดต้นหนึ่งก็ได้) โครงการขยการลงกราวด์ของสายตัวนำที่มีระดับแรงดันแตกต่างกันในบางกรณีอาจมีกระแสลำดับศูนย์ที่น้อยกว่า แต่กลับให้ผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่สูงกว่า

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์จะต้องคำนวณหาผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์สำหรับการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อให้ได้ทราบผลลัพธ์ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่รุนแรงที่สุด (IEEE Std 367, 1996)

## 9. การหาชนิดของฟอลต์ที่รุนแรงที่สุด โดยทั่วไปมีฟอลต์ 3 ชนิด ที่จะพิจารณา

9.1 Line- to-ground faults (L-G) ซึ่งเป็นฟอลต์ที่เกิดบ่อยที่สุด และ มีความจำเป็นต้องใช้กระแสลำดับศูนย์และกระแสลำดับบวกและกระแสลำดับลบในการคำนวณ โดยทั่วไป กราวด์โพเทนเชียลไรซ์เป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของกระแสลำดับศูนย์เท่านั้น แต่ค่ากระแสลำดับบวกจำเป็นต้องใช้เพื่อหาค่าสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์แต่ละตัวที่ไหลในแต่ละเฟสของวงจรที่เกิดฟอลต์

9.2 Double line-to-ground faults ตามสถิติแล้วความถี่ของการเกิดน้อยกว่าฟอลต์ชนิด L-G แต่สามารถผลิตกระแสลำดับศูนย์ได้มากกว่าฟอลต์ที่เกิดจาก L-G ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามีความแตกต่างในการต่อของโครงข่ายแต่ละลำดับในระหว่างที่เกิดฟอลต์

สำหรับฟอลต์ชนิด L-G โครงข่ายลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์ ต่อแบบอนุกรมกัน และระดับแรงดันก่อนเกิดฟอลต์เป็นตัวขับเคลื่อนกระแสฟอลต์ แต่ทว่า สำหรับฟอลต์ชนิด 2L-G ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวกจะต่ออนุกรมกัน แล้วไปต่อขนานกับค่าอิมพีแดนซ์ลำดับลบและลำดับศูนย์ ซึ่งจากการต่อกันในลักษณะนี้ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวม(ซึ่งเป็นทางผ่านของกระแสฟอลต์)มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเป็นผลให้กระแสฟอลต์มีค่าสูงกว่ากระแสฟอลต์ที่เกิดจากฟอลต์ชนิด L-G

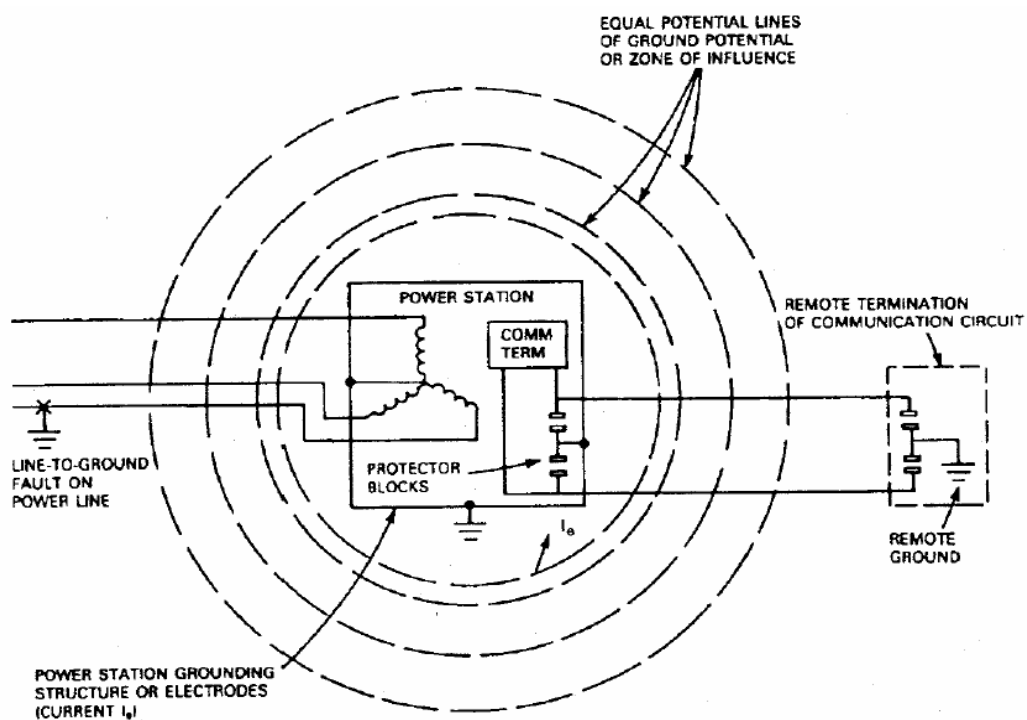
9.3 Three –phase faults ตามสถิติแล้วความถี่ของการเกิดน้อยกว่าฟอลต์ชนิด L-G และ 2L-G ฟอลต์ชนิดสามเฟสจะผลิตกระแสลำดับบวกเท่านั้น แต่รายละเอียดในการคำนวณเพื่อหาค่าสูงสุดของกระแสลำดับศูนย์แต่ละตัวที่ไหลในแต่ละเฟสของวงจรที่เกิดฟอลต์

ถ้า  $X_1$  และ  $X_0$  คือ รีแอกแตนซ์ลำดับบวก และ รีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ของอิมพีแดนซ์ที่มองจากจุดที่เกิดฟอลต์ ตามลำดับ ถ้า  $X_1$  มีค่าน้อยกว่า  $X_0$  แล้ว ฟอลต์ชนิด 2L-G จะทำให้เกิดกระแสฟอลต์ลำดับศูนย์มีค่าสูงกว่า กระแสฟอลต์ลำดับศูนย์ที่เกิดจากฟอลต์ชนิด L-G ก่อนข้างจะถึงสองเท่า (คำนวณจากตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เดียวกัน) โดยทั่วไป ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่เกิดขึ้นจากฟอลต์ชนิด 2L-G จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นมีค่าต่ำ (IEEE Std 367, 1996)

#### 10. พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ (Zone of Influence, ZOI)

จากภาพที่ 16 เมื่อเกิดกราวด์ฟอลต์ กระแสฟอลต์  $I_f$  จะไหลจากจุดที่เกิดกราวด์ฟอลต์ผ่านดินและผ่านระบบกราวด์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอาจจะเป็นส่วนของสถานีไฟฟ้า, สถานีกำเนิดพลังงานไฟฟ้า, หรือโอเวอร์เซดกราวด์ของสายส่ง กระแสที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของกราวด์อิเล็กทรอนิกส์ก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นโดยเทียบกับคอมมอนเอิร์ธ สภาพของดินในพื้นที่ใกล้เคียงกับกราวด์อิเล็กทรอนิกส์จะมีศักย์ไฟฟ้าบางส่วนโดยเทียบกับคอมมอนเอิร์ธ (IEEE Std 367, 1996)

ถ้ากราวด์อิเล็กทรอนิกส์ของสายเคเบิลโทรศัพท์หรือสายโทรศัพท์ใต้ดินที่ไม่มีฉนวนหุ้มถูกติดตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานีไฟฟ้าแรงดันสูง, เสาสายส่ง, หรือเข้าไปให้บริการภายในสถานีไฟฟ้างกล่าว ส่วนของแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ของระบบแรงดันสูงก็就会被ถ่ายโอนไปยังกราวด์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบโทรศัพท์แรงดันนี้อาจจะไปปรากฏที่คู่สายโทรศัพท์โดยผ่านอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินหรือเกิดจากการที่ฉนวนของคู่สายโทรศัพท์ไม่สามารถทนต่อแรงดันนี้ได้

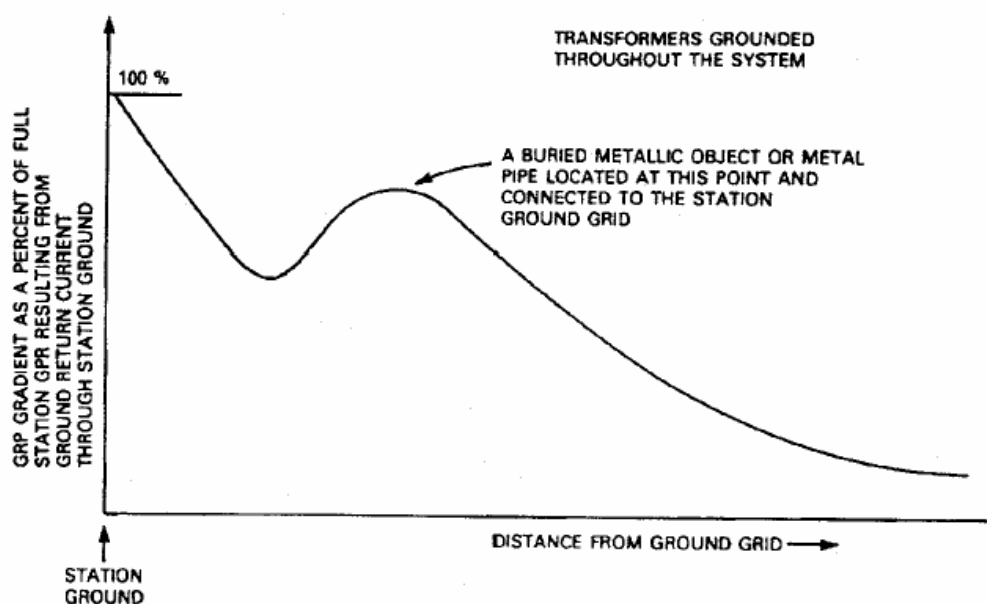


ภาพที่ 16 แสดงขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ในทางทฤษฎี

ที่มา: IEEE367 (1996)

## 11. EQUIPOTENTIAL LINES

เนื่องจากผลของกระแสที่ไหลจากกราวด์คือเล็กโทรดลงสู่ดินและใช้ดินเป็นเส้นทางไหลของกระแสจะทำให้เกิดEquipotential ของศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหน้าของดินแผ่กว้างออกจากจุดกราวด์คือเล็กโทรดที่กระแสไหลผ่านลงดิน โดยศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหน้านี้อจะลดลงตามระยะทางจากจุดที่กระแสไหลผ่านลงดินอันเนื่องมาจากค่ารีซิสติวิตีของดินที่กระแสไหลผ่าน (IEEE Std 367, 1996)



ภาพที่ 17 กราฟคิโพนเชียลเกรเดียน

ที่มา: IEEE367 (1996)

ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราฟคิโพนเชียลไรซ์ในทางทฤษฎี ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 16 สมมุติว่าความหนาแน่นของกระแสที่ไหลออกหรือไหลกลับมาจากกราฟคิเล็กโทรดหรือกราฟคิกริดนั้นสม่ำเสมอ แต่ในความเป็นจริงความหนาแน่นของกระแสรอบๆกราฟคิเล็กโทรดจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลกระทบจากหลายๆปัจจัย ดังนั้นรูปร่างของ Equipotential lines จึงถูกบิดเบือนไป ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ประกอบด้วย

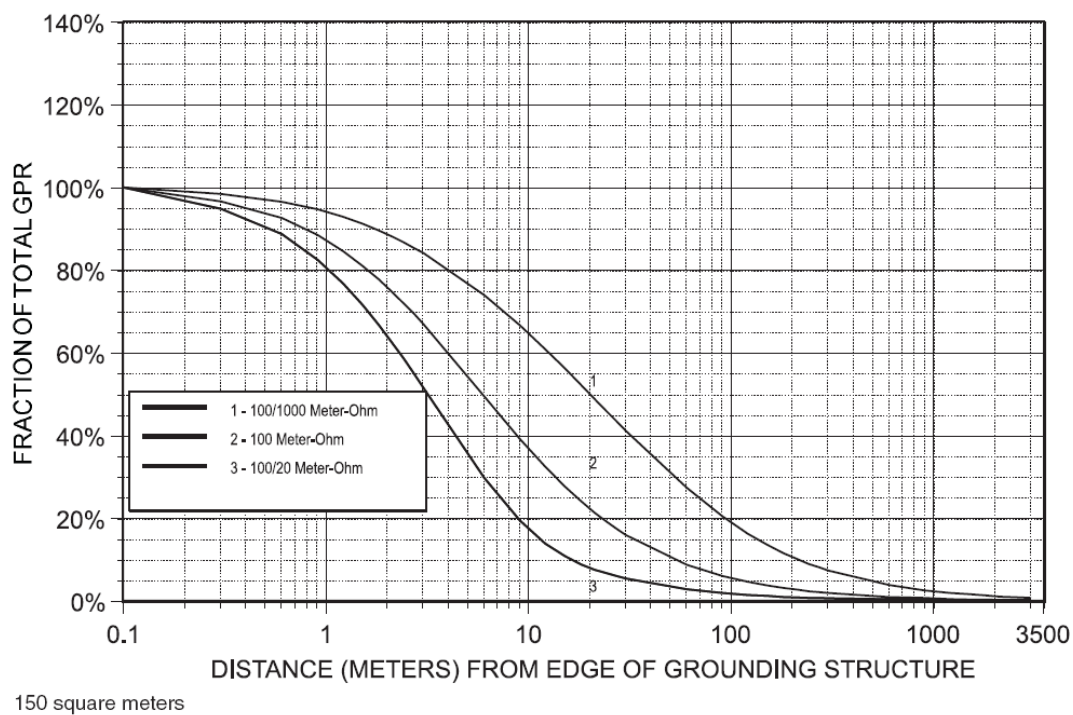
11.1 ค่ารีซิสติวิตีของดินที่ไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

11.2 ผลกระทบจากวัตถุที่เป็นโลหะที่อยู่ภายในZOI เช่นท่อเหล็กหรือดั่วหน้าที่ฝังอยู่ใต้ดิน รางรถไฟ เป็นต้น

11.3 สายโอเวอร์เฮดกราฟคิ

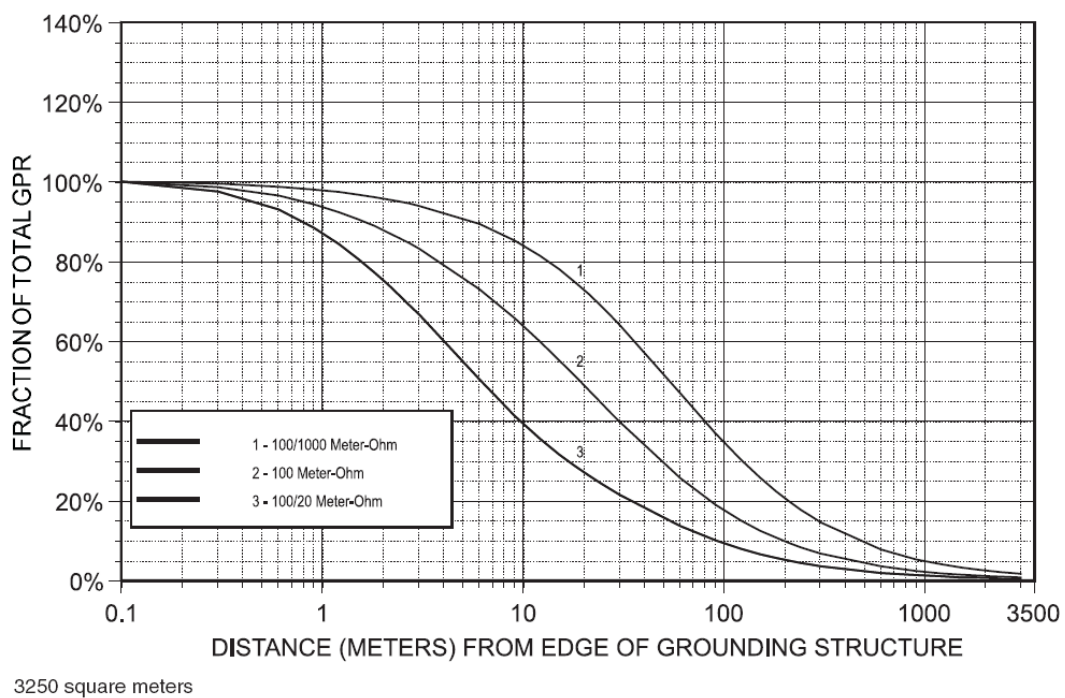
11.4 ผลกระทบทางแม่เหล็กของสายไฟฟ้าที่จ่ายกระแสฟอลต์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามขนาดของกระแสกราฟคิฟอลต์

ดังนั้น Equipotential lines จึงไม่เป็นที่ยอมรับได้อย่างง่ายๆ โดยการวัดจากการเชื่อมต่อกราวด์ไปยังจุดต่างๆ รอบๆ ตัวมัน อย่างไรก็ตามมันเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการทำความเข้าใจในเรื่องของ ZOI



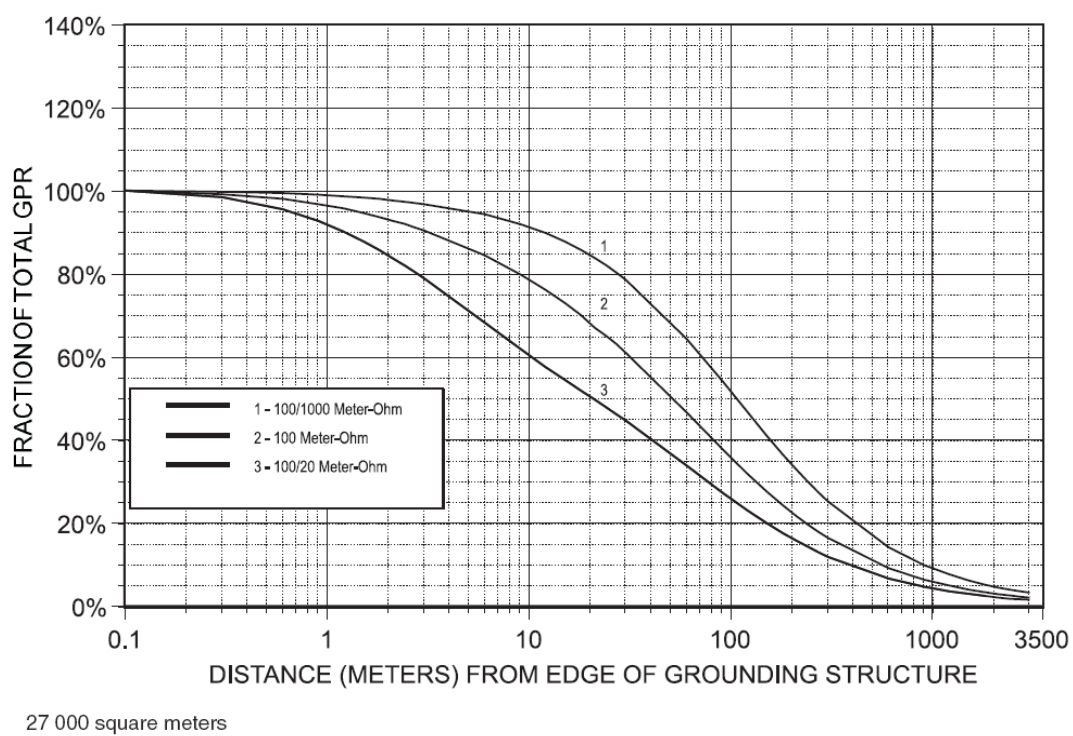
ภาพที่ 18 อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มี  
ขนาด 150 ตารางเมตร

ที่มา: IEEE367 (1996)



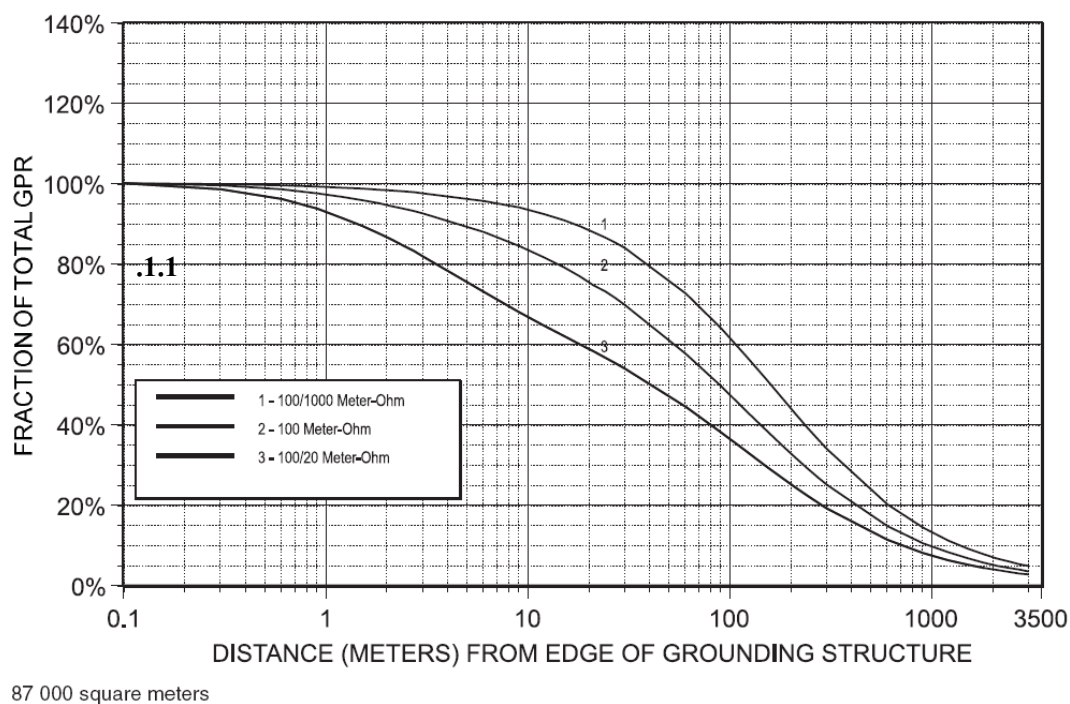
ภาพที่ 19 อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มี  
ขนาด 3250 ตารางเมตร

ที่มา: IEEE367 (1996)



ภาพที่ 20 อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มี  
ขนาด 27000 ตารางเมตร

ที่มา: IEEE367 (1996)



ภาพที่ 21 อัตราการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลสำหรับกริดที่มี  
ขนาด 87000 ตารางเมตร

ที่มา: IEEE367 (1996)

ภาพที่ 18 ถึง 21 แสดงให้เห็นถึงการแพร่กระจายที่ลดลงของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ โดยอ้างอิงคอมมอนเอิร์ธสำหรับกราวด์กริดหลายๆขนาด และดินที่มีค่าความต้านทานจำเพาะแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมEPRI โดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากวัตถุที่เป็นโลหะที่ฝังอยู่ใต้ดิน ซึ่งอาจจะต่อถึงกับระบบกราวด์ที่สถานีไฟฟ้าแล้วเป็นกราวด์สถานีไฟฟ้ายึดแผ่ออกไปอีก

## 12. POTENTIAL CONTOUR SURVEYS

เพื่อหาขอบของศักย์ไฟฟ้าจากจุดที่กำเนิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ จนถึงระยะที่ปลอดภัยสำหรับแต่ละชนิดของกราวด์ฟอลต์และตำแหน่งที่เกิดกราวด์ฟอลต์ แรงดันที่ตกคร่อมแต่ละจุดที่อยู่รอบๆจุดกำเนิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากันจะถูกเชื่อมถึงกัน ในที่นี้กำหนดไว้ที่ระดับแรงดัน 300 โวลต์ ก็จะได้เส้นขอบศักย์ไฟฟ้าที่มีระดับศักย์ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่



ยอมรับได้ตามมาตรฐาน IEEE Std 367 (1996) เรียกพื้นที่ที่อยู่ภายในเส้นขอบนี้ว่า zone of influence (ZOI) ซึ่งแน่นอนว่ารูปร่างของพื้นที่นี้จะไม่เป็นรูปวงกลมอันเนื่องมาจากปัจจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น

### 13. ผลของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ภายในZOI

ผลของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ภายในZOIขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ และค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ซึ่งเป็นการยากที่จะคาดการณ์ค่าความต้านทานของดิน ซึ่งยังมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลอีกด้วย ผลกระทบดังกล่าวอาจเกิดขึ้นตามมาภายนอกสถานีไฟฟ้าหรือบริเวณใกล้เคียงที่มีการปักกราวด์อิเล็กโทรดของสายไฟฟ้ากำลังหรือเสาสายส่งที่อยู่ภายในZOI ของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ เช่น (IEEE Std 367, 1996)

13.1 ศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวอาจถูกถ่ายโอนผ่านเส้นทางที่เป็นโลหะที่ถูกเชื่อมต่อหรือถูกเชื่อมโยงผ่านทางคาร์บิซิวิตีของดินกับกราวด์อิเล็กโทรดที่อยู่ในตำแหน่งที่ไกลออกไป

13.2 แรงดันสัมผัสระหว่างกราวด์ที่พิจารณากับระบบที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าหรืออาจเป็นศูนย์ (ตัวอย่างเช่นระบบการป้องกันสายโทรศัพท์) มีค่ามากเกินไป

13.3 แรงดันสัมผัสระหว่างระบบกราวด์ของระบบแรงดันสูงและระบบกราวด์ของระบบแรงดันต่ำ ภายในสถานีมีค่าสูงเกิน

### 14. การถ่ายโอนศักย์ไฟฟ้าของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

กราวด์โพเทนเชียลที่สถานีไฟฟ้าสามารถไปปรากฏในพื้นที่ที่อยู่นอกZOIได้โดยผ่านตัวนำของสายเคเบิลโทรคมนาคม, สายนิวทรัลของระบบจำหน่าย, ปลอกโลหะที่ใช้เป็นโล่กำบังของเคเบิลทั้งระบบโทรคมนาคมและระบบกำลัง, รางรถไฟ และ ท่อโลหะเช่นท่อน้ำ ซึ่งเส้นทางทั้งหมดที่กล่าวมาได้เข้าไปในสถานีไฟฟ้าหรือมีบางส่วนของระบบเหล่านี้อยู่ในZOI ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ถูกถ่ายโอนไปปรากฏนอกZOIจะน้อยกว่าค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่สถานีไฟฟ้า เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของเส้นทางผ่านของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์เหล่านั้น (IEEE Std 367, 1996)

## 15. การหาค่าสูงสุดของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ในบริเวณใกล้เคียงกับสถานีไฟฟ้ากำลัง หรือเสาของสายส่ง

การคำนวณค่าที่ใกล้เคียง ของEquipotential linesอาจจะนำมาใช้ไม่ได้ผลจริงๆ เพราะว่าความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดินและความไม่เรียบของรูปร่างของอิเล็กโทรด

เสาของสายส่งและสายนิวทรัลซึ่งถูกต่อลงกราวด์เป็นระยะๆของระบบจำหน่ายที่เข้าไปในสถานีไฟฟ้าจะต่อขนานอยู่กับกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าผ่านจุดลงกราวด์ของสายโอเวอร์เฮดกราวด์อาจเป็นสาเหตุทำให้รูปร่างของZOIผิดเพี้ยนไปจากที่หามาได้ ดังนั้นค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่เป็นจริงควรจะได้มาจากการวัดที่สถานีหรือที่สาย โดยจุดต่อกราวด์ทั้งหมดถูกต้องอยู่โดยสมบูรณ์เท่านั้น (IEEE Std 367, 1996)

ในขั้นตอนการออกแบบ พารามิเตอร์บางอย่างจำเป็นต้องใช้การประเมินค่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดของสถานีเดิมที่มีอยู่แล้วช่วยให้สามารถประมาณค่าการออกแบบนั้นได้

กระแสฟอลต์บางส่วนซึ่งไหลกลับแหล่งจ่ายโดยผ่านสายโอเวอร์เฮดกราวด์ที่เข้าไปในสถานีไฟฟ้ามีความสำคัญและจะต้องนำมาพิจารณา

การกระจายของกระแสฟอลต์สามารถหาได้โดยง่ายโดยใช้คอมพิวเตอร์ ถ้าทราบค่าอิมพีแดนซ์ของเสาไฟฟ้า

โครงข่ายประกอบด้วยสายโอเวอร์เฮดกราวด์ซึ่งถูกต่อลงดินเป็นระยะๆ และเสาไฟฟ้าที่เข้าไปในสถานีไฟฟ้า ถูกแทนด้วยค่าอิมพีแดนซ์เทียบกับcommon earth ซึ่งถูกมองจากสถานีไฟฟ้า( $Z_{ch}$ )

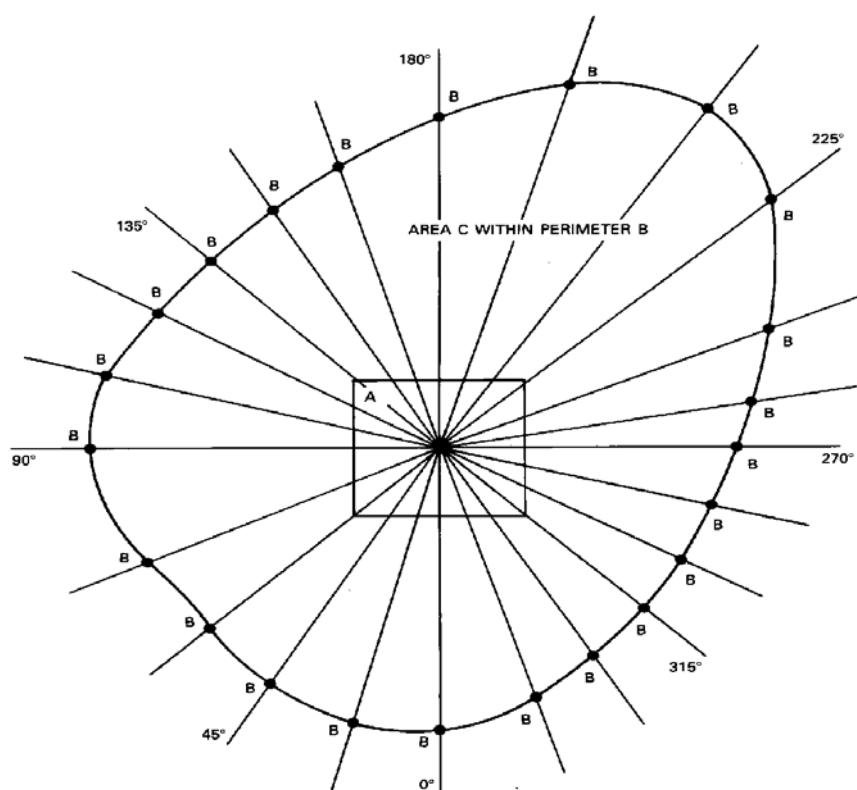
$$Z_{ch} \approx \sqrt{LZ_s Z_p} \quad \text{โอห์ม} \quad (13)$$

โดยที่

$L$  = the span length

$Z_s$  = อิมพีแดนซ์ของสายโอเวอร์เฮดกราวด์ต่อหน่วยความยาว

$Z_p$  = อิมพีแดนซ์ที่ฐานของเสาไฟฟ้า(สมมุติให้มีค่าคงที่)



ภาพที่ 22 แสดงเส้นขอบศักย์ไฟฟ้าที่ดินของเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

ที่มา: IEEE367 (1996)

จากรูป

A คือ กราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้า

B คือ จุดที่มีค่าความต้านทานดินจากกราวด์กริดสถานีไฟฟ้าเท่ากัน โดยที่กราวด์โพเทนเชียลไรซ์ลดลงเหลือค่าที่ยอมรับได้

C คือ ขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

16. การคำนวณหาขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

การคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหน้าดินซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่สถานีไฟฟ้า โดย ปัจจัยหลักที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ (IEEE Std 367, 1996)

### 16.1 จำนวนตาข่าย(mesh)ของกริด(เทียบกับขนาดกริดเท่ากัน)

เมื่อเทียบกับขนาดของกริดที่เท่ากัน กริดที่มีจำนวนmeshมากกว่า(ขนาดของmeshจะเล็กกว่า) จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำ และเป็นผลให้ค่ากราวด์โพเทนเชียลที่อาจเกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่า กริดที่มีจำนวนmeshน้อยกว่า

### 16.2 การเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานจำเพาะของดินตามแนวตั้ง

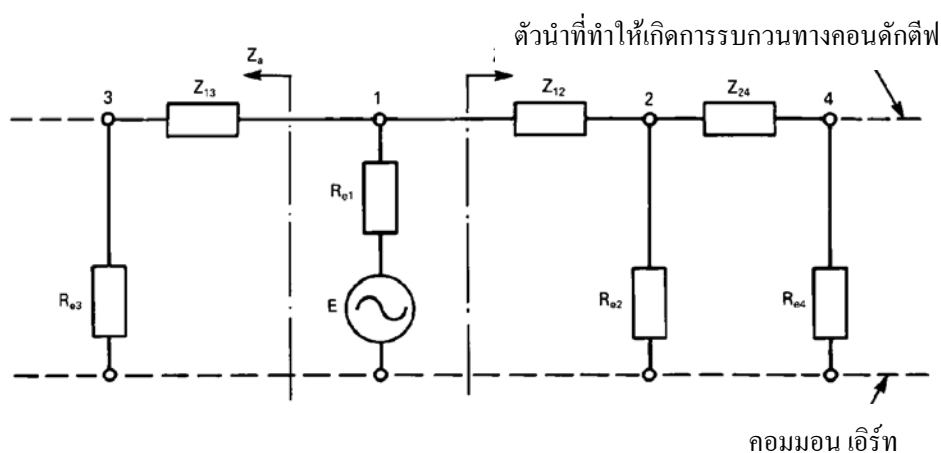
ชั้นผิวหน้าของดินที่ไม่ลึกมากนักซึ่งมีค่าความต้านทานจำเพาะสูงสามารถทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของ กริดมีค่าสูงขึ้นและก็เป็นผลให้ค่ากราวด์โพเทนเชียลสูงขึ้นด้วย

ปัจจัยรองที่มีผลต่อพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไร้ชกก็คือการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจำเพาะของดินตามแนวนอนซึ่งมีน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงตามแนวตั้งอย่างชัดเจน ดังนั้นการคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดภาคสนามจะให้ผลที่น่าพอใจ

ท่อโลหะที่ฝังใต้ดินหรือสายนิวทรัลที่ถูกต้องลงดินเป็นระยะๆสามารถจะเป็นผลให้การรบกวนถูกจำกัดอยู่ในบริเวณที่ท่อโลหะที่ฝังอยู่หรืออิเล็กทรอนิกส์ของสายนิวทรัลนั้นๆ

ในพื้นที่ที่เป็นชุมชนหนาแน่น ระบบเหล่านี้จะทำหน้าที่เสมือนว่าเป็นตาข่ายโดยทั่วไปจะช่วยลดศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหน้าของดิน

ในพื้นที่ที่เป็นชนบทสามารถจำลองศักย์ไฟฟ้าที่นิวทรัลโดยแทนด้วยโครงข่ายที่มีลักษณะคล้ายบันไดของอิมพีแดนซ์ของดินที่เป็นเส้นทางผ่านของกระแสที่ไหลกลับแหล่งจ่ายเมื่อเกิดฟอลต์ และอิมพีแดนซ์ของแท่งหลักดินในลักษณะตามขวาง (IEEE Std 367, 1996)



ภาพที่ 23 โครงข่ายที่มีลักษณะคล้ายชั้นบันไดของอิมพีแดนซ์ของดิน

ที่มา: IEEE367 (1996)

ระบบกราวด์กริดที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานจำเพาะของดินตามฤดูกาลอาจจะมีผลกระทบต่อรูปทรงที่ไม่แน่นอนของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลรัศมีบ้างแต่ไม่มากนัก (IEEE Std 367, 1996)

อย่างไรก็ตาม ถ้าสมมุติว่า ระบบกราวด์กริดที่พิจารณามีความสมมาตรพอสมควรซึ่งอาจถือได้ว่าระบบกราวด์กริดแยกโดยอิสระจากระบบกราวด์อื่นๆ ดังนั้นสามารถใช้วิธีการคำนวณแบบง่าย ๆ ซึ่งจะให้ความเที่ยงตรงแม่นยำตามต้องการสำหรับการหาผลเฉลยของงานวิศวกรรมภาคปฏิบัติที่ใช้ได้ (IEEE Std 367, 1996)

นอกจากกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้การพิจารณา สมมุติว่าไม่มีตัวนำโลหะอื่นๆ อยู่ในดิน ที่ระยะ  $x$  ซึ่งมากกว่าสามเท่าของรัศมีของกราวด์กริด (เทียบกับพื้นที่ที่กราวด์กริดที่เท่ากันกับวงกลม) ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหน้าดิน เมื่อเทียบกับคอมมอนเอิร์ธจะถูกทำให้สูงขึ้นถึงระดับ

$$V(x) = \frac{\rho I_g}{2\pi x} \quad \text{โวลท์} \quad (14)$$

โดยที่

$V(x)$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่คิดเทียบกับคอมมอนเอิร์ธ ( $V_{rms}$ )

$\rho$  คือ ความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม – เมตร)

$X$  คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางของกราวด์กริด (ม.) ( $X = 3r$ ,  $r$  คือ รัศมีของกราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เมตร)

$I_g$  คือ กระแสที่ไหลผ่านกราวด์กริดเป็น rms (แอมแปร์)

สำหรับระยะทางที่ใกล้เคียงสามเท่าของรัศมีของกราวด์กริดสมการที่ 14 ซึ่งเป็นสมการสำหรับอิเล็กทรอนิกส์ทรงกลมสามารถนำมาดัดแปลงให้ใช้กับอิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะคล้ายกับแผ่นกลมวางอยู่ในเนื้อดินสม่ำเสมอ

$$V(x) = \frac{\rho I_g}{2\pi r} \sin^{-1}\left(\frac{r}{x}\right) \text{ (rad)} \quad \text{โวลท์} \quad (15)$$

โดยที่

$r$  คือ รัศมีของวงกลมเทียบเท่ากับพื้นที่กราวด์กริด (ม.)

ที่ระยะสามเท่าของรัศมีเทียบเท่าของกราวด์กริด สมการที่ 14 มีความผิดพลาดประมาณ 2 % เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 15

ที่ระยะมากกว่าสามเท่าของรัศมีเทียบเท่าของกราวด์กริดทั้งสองสมการนี้ให้ผลถือว่าเหมือนกัน

ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนว่าจะใช้สมการใดเพราะจะต้องขึ้นอยู่กับระยะทางจากสถานีอีก จึงพิจารณาใช้สมการที่ 15 เพราะสามารถใช้ได้ทุกระยะที่พิจารณา

สมการที่ 15 สามารถใช้ได้โดยตรงถ้าทราบค่า  $I_g$  แต่ค่า  $V(x)$  มักมีความสัมพันธ์กับค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่สถานี ซึ่งสมการหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ได้มาจาก Laurent และ Niemann (IEEE STD 80-1988) คือ

$$GPR = \frac{\rho l g}{4r} + \frac{\rho l g}{L} \quad \text{โวลท์} \quad (16)$$

โดยที่

$L$  คือ ความยาวของตัวนำที่ทำเป็นกรวดกริดทั้งหมด

สมการที่ 16 เทอมแรกเป็นค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านกริดกับค่าความต้านทานของกริดต่ำสุดสำหรับ โมเดลดินแบบสมมาตรที่หาได้จาก โมเดลของแผ่นโลหะวงกลมวางบนพื้นดินที่มีความต้านทานจำเพาะของดิน( $\rho$ ) ส่วนเทอมที่สอง เป็นค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลผ่านกริดที่มีความต้านทานดิน เนื่องจากความยาวของตัวนำกริดทั้งหมดที่ฝังในดิน  $L$  ซึ่งเทอมหลังนี้ค่า  $R_g$  จะเข้าใกล้ศูนย์สำหรับ กริดที่มีความหนาแน่นมาก (มีจำนวนmeshมาก)ซึ่งก็จะมีความสัมพันธ์กับ  $L$  เพราะถ้ามีจำนวน meshมาก ค่า  $L$  ก็จะมีค่ามากตาม โดย  $L$  มักจะมีค่ามากกว่า  $r$

ถ้ากำหนดค่า  $V(x)$  เพื่อต้องการทราบค่า  $x$  ซึ่งเป็นขอบเขตของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจาก กราวด์โพเทนเชียลไรซ์ สามารถนำความสัมพันธ์ของสมการที่ 15 กับสมการที่ 16 มาสัมพันธ์กันได้ ดังนี้

$$\frac{V(x)}{GPR} = \frac{0.64}{1 + 4r/L} \sin^{-1}\left(\frac{r}{x}\right) (rad) \quad (17)$$

โดยที่

$1 + 4r/L$  เป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของกริด(จำนวนmeshที่อยู่ภายในกริด)

### การต่อลงดิน

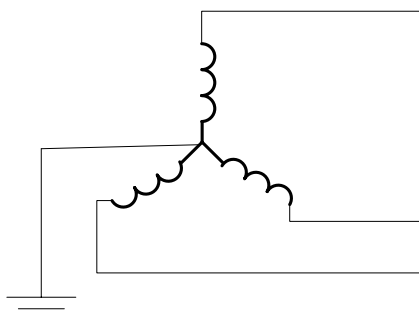
ในการศึกษาการเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ มีความจำเป็นต้องทราบเหตุผลและลักษณะ การต่อลงดินของระบบต่างๆ ดังนี้

1. การต่อลงดินของระบบกำเนิดไฟฟ้า
2. การต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย
3. การต่อลงดินของหม้อสายโทรศัพท์
4. การต่อลงดินของข่ายสายโทรศัพท์

### การต่อลงดินของระบบกำเนิดไฟฟ้า

การต่อลงดินของระบบกำเนิดไฟฟ้า ถือว่าเป็นการต่อลงดินของระบบ มีจุดประสงค์ เพื่อให้ระบบทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ไม่ได้มีไว้เพื่อความปลอดภัยแต่อย่างใด หลักการในการพิจารณาส่วนใหญ่จะคำนึงถึงขนาดของกระแสลัดวงจรลงดิน และแรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นในระบบ การต่อลงดินของแหล่งกำเนิดนี้ มีหลายวิธีในการต่อลงดิน เช่น (ชำนาญ และ เทพกาญญา, 2549)

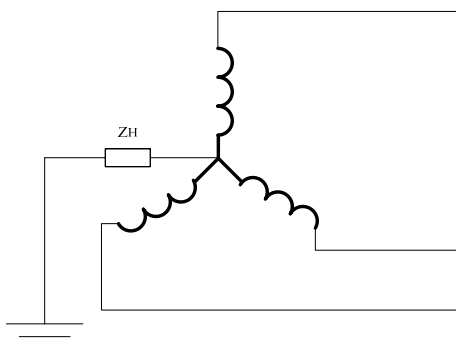
1. การต่อลงดินโดยตรง (solidly ground)



ภาพที่ 24 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดินโดยตรง

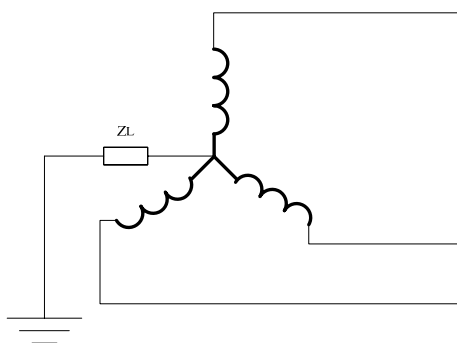


## 2. การต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูง ( $Z_H$ )



ภาพที่ 25 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดินโดยต่อผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูง

## 3. การต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ ( $Z_L$ )



ภาพที่ 26 การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดแบบต่อลงดินโดยต่อผ่านอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ

การต่อลงดินทั้งสามชนิดจากที่กล่าวมา จะพิจารณาจากค่ากระแสลัดวงจรลงดินเพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ป้องกันภายในระบบทำงาน และไม่เป็นอันตรายต่อระบบ แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงขนาดของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปกระแสลัดลงดินนี้จะถูกจำกัดให้ไม่เกิน 20 แอมแปร์ ดังนั้นจึงสามารถละเลยผลของกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่เกิดจากระบบกำเนิดกำลังไฟฟ้าได้

## การต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย

การต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย มีจุดประสงค์เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานภายใน สถานีเมื่อมีกระแสลัดวงจรลงดินและไหลผ่านกราวด์กริดที่ได้ออกแบบไว้ การออกแบบกราวด์กริดก็เพื่อให้แรงดันช่วงก้ำว และแรงดันสัมผัสต่ำกว่าค่าที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ ลักษณะของ กริดจะเป็นตาข่ายถูกฝังดินและโรยด้วยหินกรวดปิดทับด้านบน (ชำนาญ และ เทพกัญญา, 2549)

การออกแบบ grounding system โดยทั่วไปมีการดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วัดค่า earth resistivity ที่สถานีที่ตำแหน่งความลึกต่างๆ กัน ควรวัดหลายๆ ตำแหน่ง และหลายทิศทาง
2. คำนวณหาค่า ground resistance
3. หาขนาดของเส้นลวดทองแดง (ground conductor)
4. คำนวณ step และ touch voltage

โครงอุปกรณ์ (structure/casing/housing) ต้องต่อจุดต่อลงดินเข้ากับ ground grid ซึ่งรวมถึง เหล็กที่ใช้เสริมให้เกิดความแข็งแรงของอาคาร และ รั้ว

ในเวลาเกิดลัดวงจรจะมีกระแสจำนวนมากไหลผ่านกราวด์กริด ทำให้ กราวด์กริดมีแรงดัน สูงขึ้นเมื่อเทียบกับดินที่อยู่ห่างออกไป(กราวด์โพเทนเชียลไรซ์) ดังนั้นจึงต้องระวังวงจรแรง ต่ำและวงจรโทรคมนาคมที่เข้ามาสถานี ไม่ว่าวงจรนั้นจะมีการต่อลงดินที่สถานี หรือที่เส้นทางที่ ไกลจากสถานีหรือไม่ ระบบโทรศัพท์ที่เข้ามาให้บริการภายในสถานีไฟฟ้าหรือเพียงแต่มีส่วนหนึ่ง ส่วนใดของระบบโทรศัพท์ผ่านเข้าไปให้บริการในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียล ไรซ์ ก็อาจมีแรงดันกราวด์โพเทนเชียลที่ในสถานีหรือแรงดันกราวด์โพเทนเชียลภายในเขตพื้นที่ ถ่ายโอนออกไปได้ หรือถ้ามีการนำระบบ power supply จากสถานีไปใช้ภายนอก ควรแยกด้วย isolating transformer และต้องระวังสายนำสัญญาณที่ส่งไปภายนอกสถานี เช่น trip signal cable ที่ ส่งไปสถานีของลูกค้าที่อยู่ใกล้ๆ ก็อาจเกิดปัญหาเช่นเดียวกัน

## การต่อลงดินของข่ายสายโทรศัพท์

### 1. วัตถุประสงค์ มาตรฐานระบบ Ground ข่ายสาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1.1 ทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานและประชาชน
- 1.2 ลดความรุนแรงของกระแสไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์โทรคมนาคม
- 1.3 ลดสัญญาณรบกวนทำให้คุณภาพบริการดีขึ้น
- 1.4 ทำให้การติดตั้ง และปรับปรุงระบบ Ground ข่ายสายเป็นไปในแนวทางเดียวกัน
- 1.5 กำหนดวัสดุตอนนอกที่เกี่ยวข้องกับระบบ Ground ข่ายสาย

### 2. นิยาม

ระบบ Ground ข่ายสาย คือ ระบบเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่มีอยู่ใน Cable Shield และสายสะพานไหลลงสู่ดิน (ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ. ทีโอที, 2548)

ข่ายสาย คือ เคเบิลท้องถิ่น ( Local Cable ) ประเภทเคเบิลทองแดง ตั้งแต่ชุมสายถึงตู้พักปลายทาง รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบ เช่น ตู้ผ่าน หัวต่อ บ่อพัก(Manhole) บ่อพักย่อย (Pull Box) ตู้พักปลายทางทั้งแบบ Stub Cable Terminals และ Ready Access Cable Terminal /Closure เป็นต้น

แท่งหลักดิน คือ แท่งตัวนำไฟฟ้าที่ปักฝังในดิน เพื่อทำหน้าที่ถ่ายเทกระแสไฟฟ้าลงดิน Ground Wire คือ สายตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อมประสานสัณยัไฟฟ้าระหว่างสิ่งต่อไปนี้

- ก. Cable Shield กับแท่งหลักดิน
- ข. สายสะพานเคเบิลอากาศกับแท่งหลักดิน
- ค. แท่งหลักดินกับแท่งหลักดิน
- ง. สายสะพานกับสายสะพาน ของเคเบิลอากาศ
- จ. แท่งหลักดินกับ Ground Bar

Ground Resistance คือ ค่าความต้านทานจากแท่งหลักดินไปยังจุดอ้างอิง Common Earth

Ground Return Current คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งไหลในพื้นดิน เพื่อไหลกลับไปยังแหล่งกำเนิด

สัญญาณรบกวน (Noise) คือ สัญญาณที่ไม่ต้องการ ซึ่งเกิดขึ้นมาในวงจรและเข้าผสมกับสัญญาณใช้งานในคู่สายโทรศัพท์

### 3. ชนิดของกราวด์ข่ายสาย ระบบ Ground ข่ายสาย แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

#### 3.1 ระบบ Ground ข่ายสาย แบบ Indirect Feed ตามภาพที่ 27. ประกอบด้วย

##### 3.1.1 ระบบ Ground สายสะพาน

##### 3.1.2 ระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลอากาศ

##### 3.1.3 ระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลร้อยท่อใต้ดิน

##### 3.1.4 ระบบ Ground ตู้ผ่าน

ระบบ Ground สายสะพาน ต้องแยกออกจาก ระบบ Ground ของ Cable Shield และระบบ Ground ตู้ผ่านอย่างเด็ดขาด เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเข้าหากัน

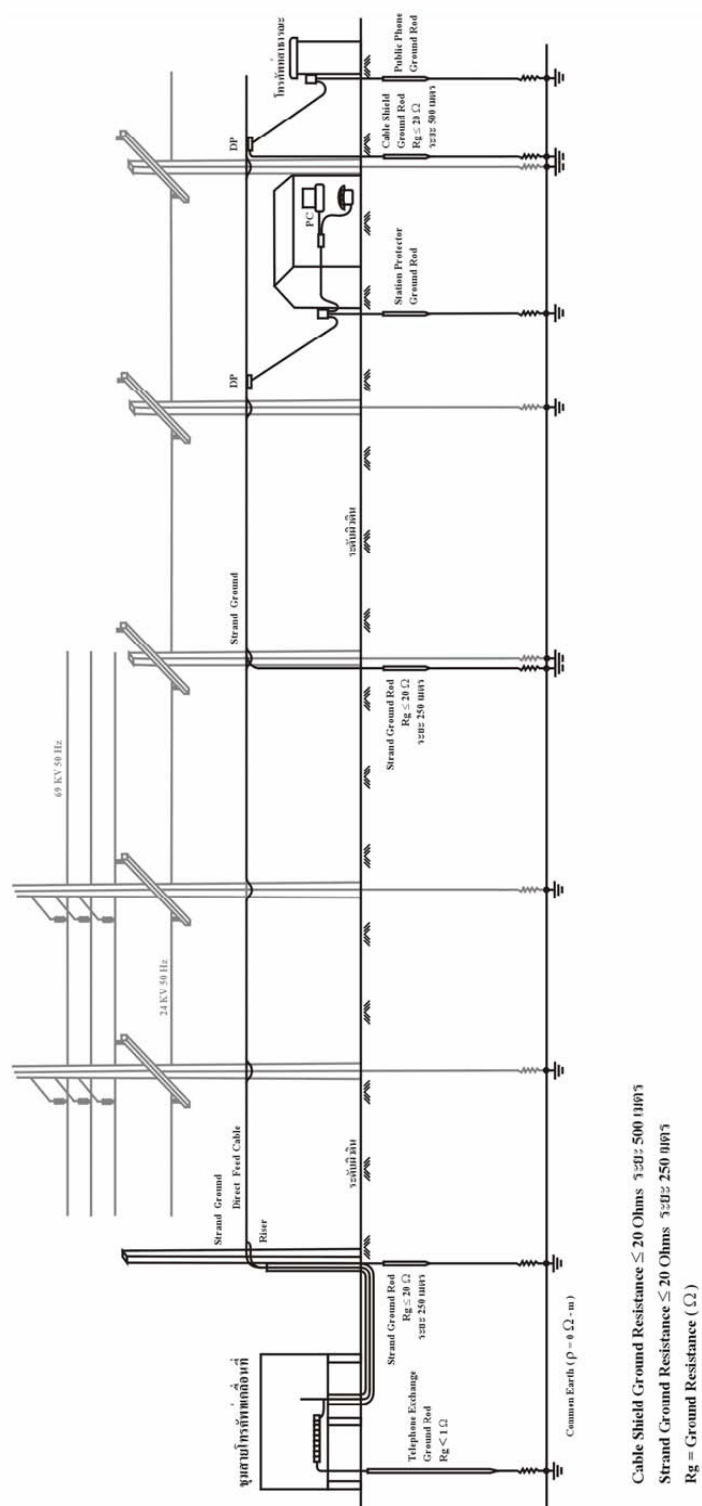
#### 3.2 ระบบ Ground ข่ายสาย แบบ Direct Feed ตามภาพที่ 28. ประกอบด้วย

##### 3.2.1 ระบบ Ground สายสะพาน

##### 3.2.2 ระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลอากาศ

##### 3.2.3 ระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลร้อยท่อใต้ดิน





ภาพที่ 28 ระบบ Ground ข่ายสาย แบบ direct Feed

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)

#### 4. ค่ามาตรฐาน Ground Resistance ของระบบ Ground ข่ายสาย กำหนดให้มีค่าดังนี้

4.1 ค่ามาตรฐาน Ground Resistance สายสะพานในแต่ละจุด มีค่าไม่เกิน 20 โอห์ม และ  
ไม่รับ Ground Return Current จากดิน

4.2 ค่ามาตรฐาน Ground Resistance ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลอากาศในแต่ละ  
จุด มีค่าไม่เกิน 20 โอห์ม และ ไม่รับ Ground Return Current จากดิน

4.3 ค่ามาตรฐาน Ground Resistance ตู้ผ่านในแต่ละจุด มีค่าไม่เกิน 20 โอห์ม และ ไม่รับ  
Ground Return Current จากดิน

#### 5. การติดตั้งระบบกราวด์สายสะพาน มีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้

5.1 จุดเริ่มต้นของการติดตั้งแท่งหลักดินสายสะพาน คือ จุดแรกที่เริ่มแขวนเคเบิล

5.2 ระยะห่างในการทำ Ground สายสะพาน แต่ละจุดห่างกันประมาณ 250 เมตร

5.3 จุดสุดท้ายในการทำ Ground สายสะพาน คือ ที่เสาจนถึงตู้พักปลายทางตู้สุดท้าย  
ของทุกตู้ โดยระยะห่างจากจุดก่อนหน้านี้ต้องไม่น้อยกว่า 250 เมตร กรณีที่ระยะไม่ถึง 250 เมตร ไม่  
ต้องทำ Ground เพิ่ม ตามภาพที่ 29

5.4 ภายหลังการติดตั้งแท่งหลักดิน ณ จุดนั้น ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องตรวจสอบค่า  
Ground Resistance ของแท่งหลักดิน และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งหลักดิน และสาย  
สะพาน เทียบกับจุดอ้างอิง

5.5 ค่า Ground Resistance ของแท่งหลักดินในแต่ละจุดมีค่าไม่เกิน 20      และ ไม่รับ  
Ground Return Current จากดิน

5.6 ตำแหน่งติดตั้งแท่งหลักดิน ห่างจากโคมเสาไฟฟ้าต้องไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร ดอก  
จมูกจากระดับผิวดินต้องไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

6. การติดตั้งระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลอากาศ มีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้

6.1 เคเบิลอากาศที่ติดตั้งจากชุมสาย จุดเริ่มต้นในการทำ Ground ของ Cable Shield คือ Ground Window Bar (GWB) ของห้อง Cable Vault หรือ Ground Window Bar(GWB) ของ MDF ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของต้นสายที่เคเบิลอากาศติดตั้งอยู่

6.2 เคเบิลอากาศที่ติดตั้งจากตู้ผ่าน จุดเริ่มต้นในการทำ Ground ของ Cable Shield คือ Ground Bar ตู้ผ่าน

6.3 ระยะห่างในการทำ Ground ของ Cable Shield แต่ละจุดห่างกันประมาณ 500 เมตร. โดยให้นำ Cable Shield ลงดินที่ตำแหน่งหัวต่อเคเบิล หรือหัวต่อของผู้พักปลายทาง

6.4 จุดสุดท้ายในการทำ Ground ของ Cable Shield คือ หัวต่อของผู้พักปลายทางคู่สุดท้ายของทุกคู่ ตามภาพที่ 29

6.5 หลังจากติดตั้งแท่งหลักดิน ณ จุดนั้น ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องตรวจสอบค่า Ground Resistance ของแท่งหลักดิน และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งหลักดิน และ Cable Shield เทียบกับจุดอ้างอิง

6.6 ค่า Ground Resistance ของแท่งหลักดินในแต่ละจุดมีค่าไม่เกิน 20 และไม่รับ Ground Return Current จากดิน

6.7 ตำแหน่งติดตั้งแท่งหลักดินห่างจากโคนเสาไฟฟ้าต้องไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร ตอกจมูกจากระดับผิวดินต้องไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

หมายเหตุ

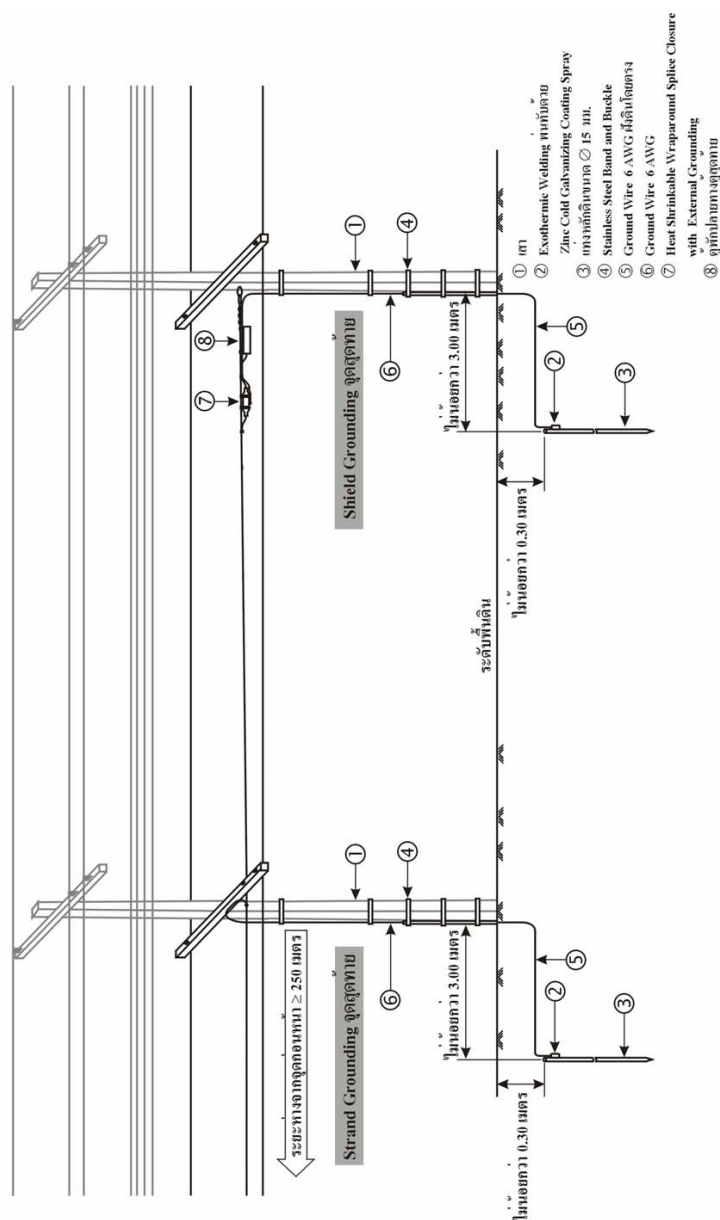
1. กรณีจุดลงดินสายสะพานและ/หรือ Cable Shield เป็นเสาต้นเดียวกับจุดลงดิน Neutral หรือจุดลงดินกับดักฟ้าผ่าของระบบไฟฟ้า ให้เลื่อนจุดลงดินของสายสะพานและ Cable Shield

2. กรณีจุดลงดินสายสะพานเป็นเสาต้นเดียวกับจุดลงดิน Cable Shield ให้ดำเนินการดังนี้



- ให้เลื่อนจุดลงดินสายสะพานไปที่เสาต้นก่อนหน้า หรือ เสาต้นหลังจากเสาต้นที่กำหนดไว้ที่มีอยู่เดิม

- หากเสาที่เลื่อนไปเป็นเสาต้นเดียวกับจุดลงดิน Neutral หรือจุดลงดินกับดักฟ้าผ่าของระบบไฟฟ้าให้เลื่อนไปที่เสาต้นถัดไปอีกต้น



ภาพที่ 29 การติดตั้งแท่งหลักดินจุดสุดท้ายของสายสะพานและไล์กำบังของเคเบิล

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)

7. การติดตั้งระบบ Ground ของ Cable Shield สำหรับเคเบิลร้อยท่อใต้ดิน มีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้

7.1 เคเบิลร้อยท่อใต้ดิน จุดเริ่มต้นในการทำ Ground ของ Cable Shield คือ Ground Window Bar (GWB) ของห้อง Cable Vault หรือ Ground Window Bar (GWB) ของ MDF ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของต้นสายที่เคเบิลร้อยท่อใต้ดินติดตั้งอยู่

7.2 ระยะห่างในการทำ Ground ของ Cable Shield แต่ละจุดห่างกันประมาณ 500 ถึง 600 เมตร อย่างน้อย 3 ช่วงบ่อพัก (Manhole) และ/หรือบ่อพักย่อย (Pull Box) และให้นำ Cable Shield ลงดินที่ตำแหน่งหัวต่อเคเบิลในบ่อพัก (Manhole) และ/หรือบ่อพักย่อย (Pull Box)

7.3 จุดสุดท้ายในการนำ Cable Shield ลงดินของเคเบิลร้อยท่อใต้ดินคือ Ground Bar ในตู้ผ่าน

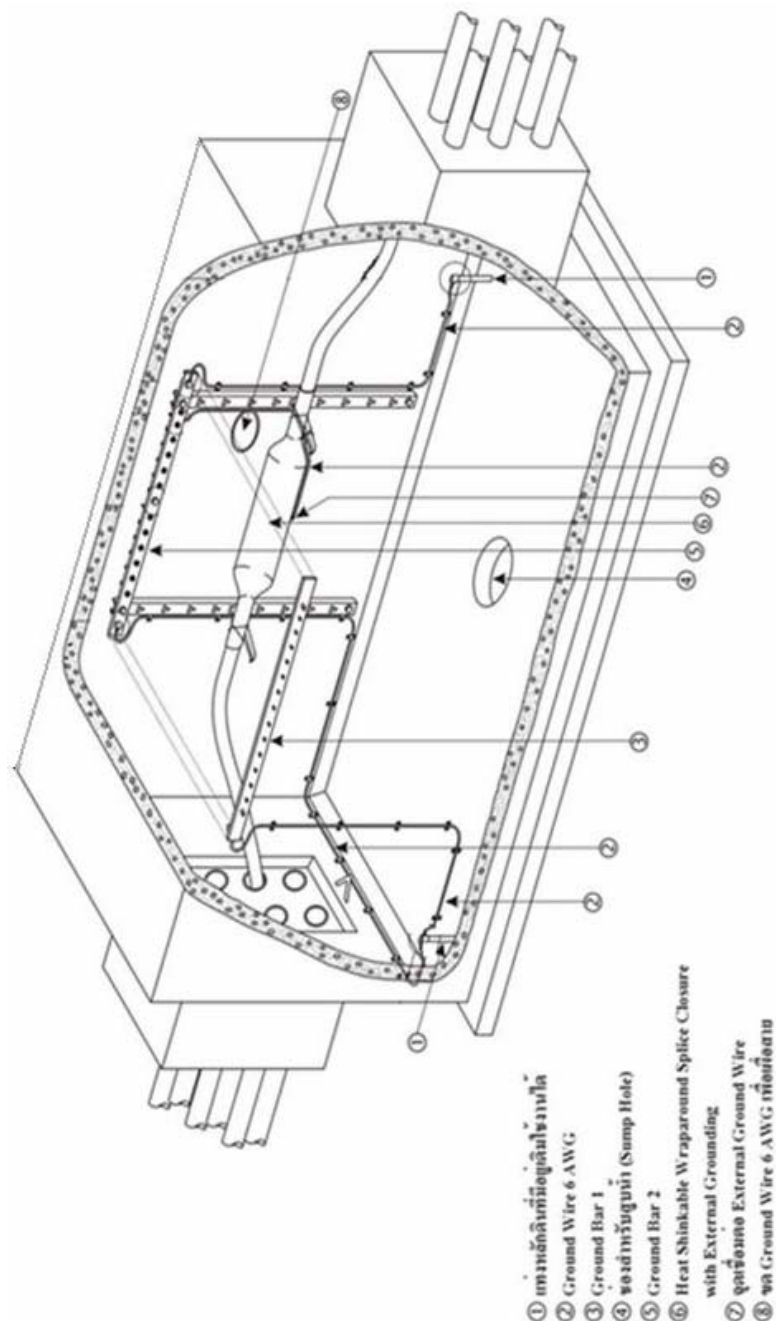
7.4 การเชื่อมต่อระหว่าง Ground Wire กับ Ground Bar และแท่งหลักดิน ให้ใช้วิธีการ Exothermic Welding เท่านั้น พร้อมพ่นทับรอยเชื่อมด้วย Zinc Cold Galvanizing Coating Spray โดยการเชื่อมต่อในบ่อพัก (Manhole) แสดงตามภาพที่ 30 และ/หรือ การเชื่อมต่อในบ่อพักย่อย (Pull Box) แสดงตามภาพที่ 34

7.5 การเชื่อมต่อระหว่าง Cable Shield กับ Ground Bar ในบ่อพัก (Manhole) และ/หรือบ่อพักย่อย (Pull Box) ให้ดำเนินการดังนี้

7.5.1 การเชื่อมต่อ Ground wire ขนาด 6 AWG เข้ากับ Cable Shield ให้ต่อผ่านจุดต่อภายนอกของหัวต่อแบบ Heat Shrinkable Wraparound Splice Closure with External Ground ตามภาพที่ 30 และตามภาพที่ 34

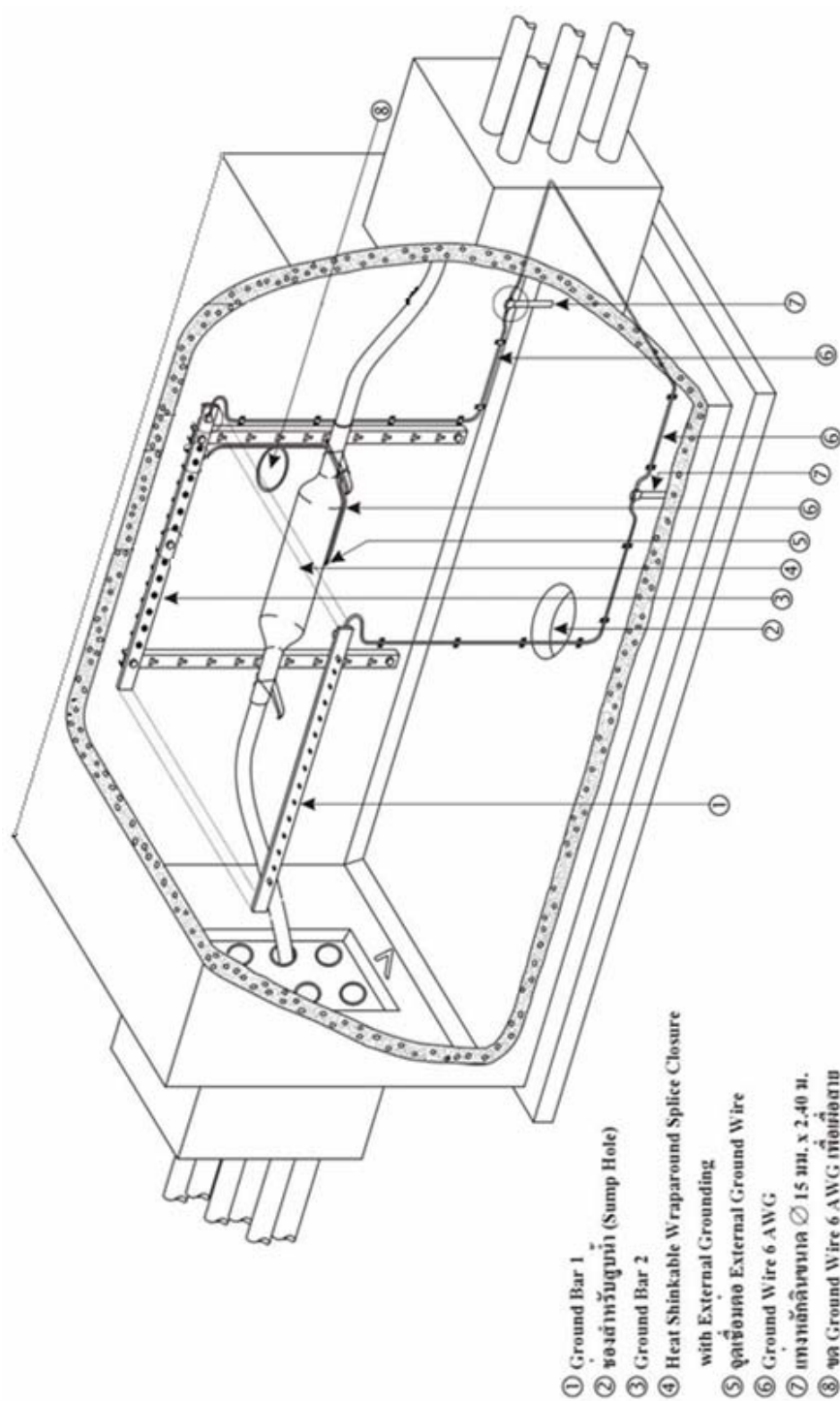
7.5.2 การเชื่อมต่อ Ground wire เข้ากับ Ground Bar ในบ่อพัก (Manhole) และ/หรือบ่อพักย่อย (Pull Box) ให้ต่อเข้าที่ Terminal ของ Ground Bar ได้ทุก Terminal ยกเว้น Terminal แรกและ Terminal สุดท้ายซึ่งสำรองไว้สำหรับ Strip Wire ตามภาพที่ 36(a) และ ภาพที่ 36(b)

7.6 การเชื่อมต่อระหว่างแท่งหลักดินกับ Ground Bar สำหรับบ่อพัก (Manhole) ให้เป็นไปตามภาพที่ 30 และ 31 และ/หรือบ่อพักย่อย (Pull Box) ให้เป็นไปตามภาพที่ 34 และ 35



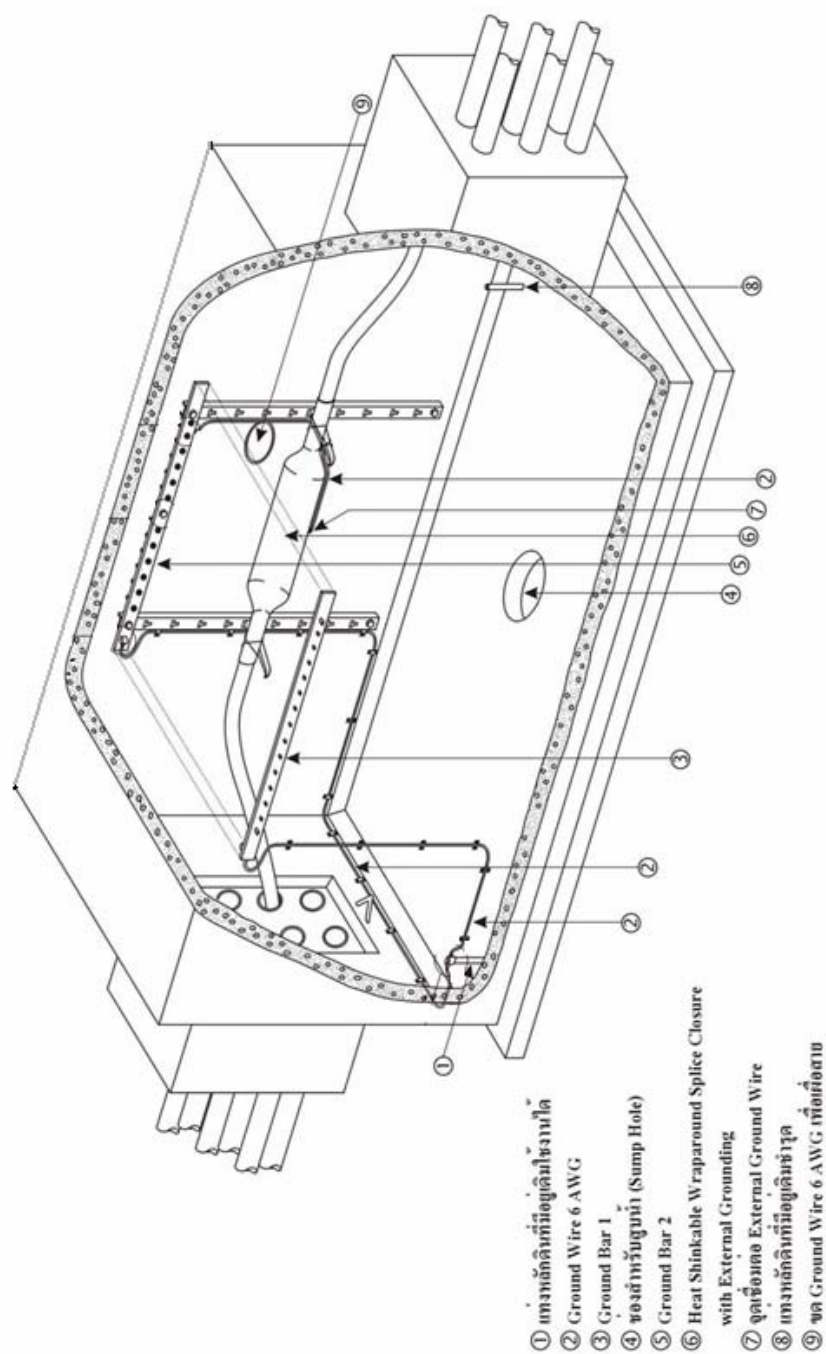
ภาพที่ 30 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักที่มีอยู่เดิม และแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้งานได้ทั้งสองแท่ง

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



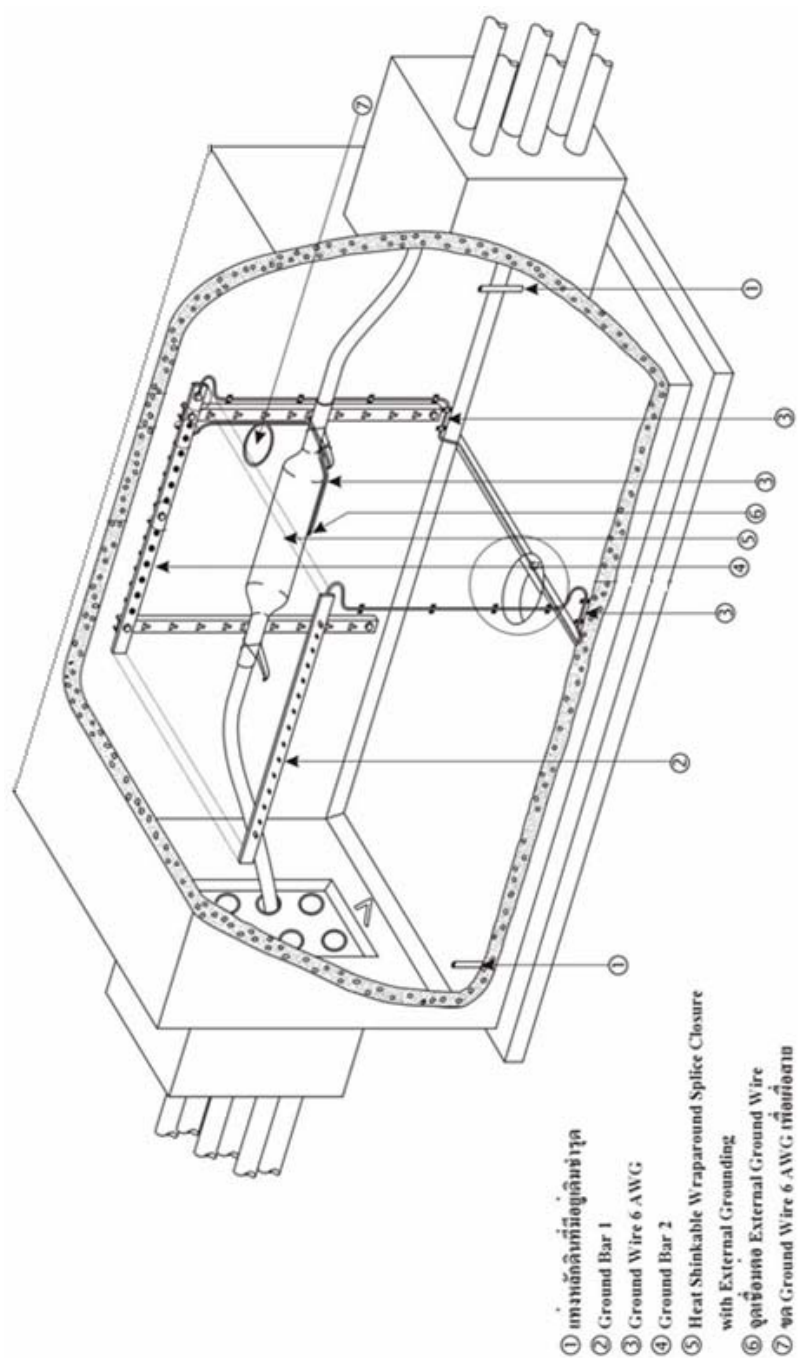
ภาพที่ 31 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักใหม่

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



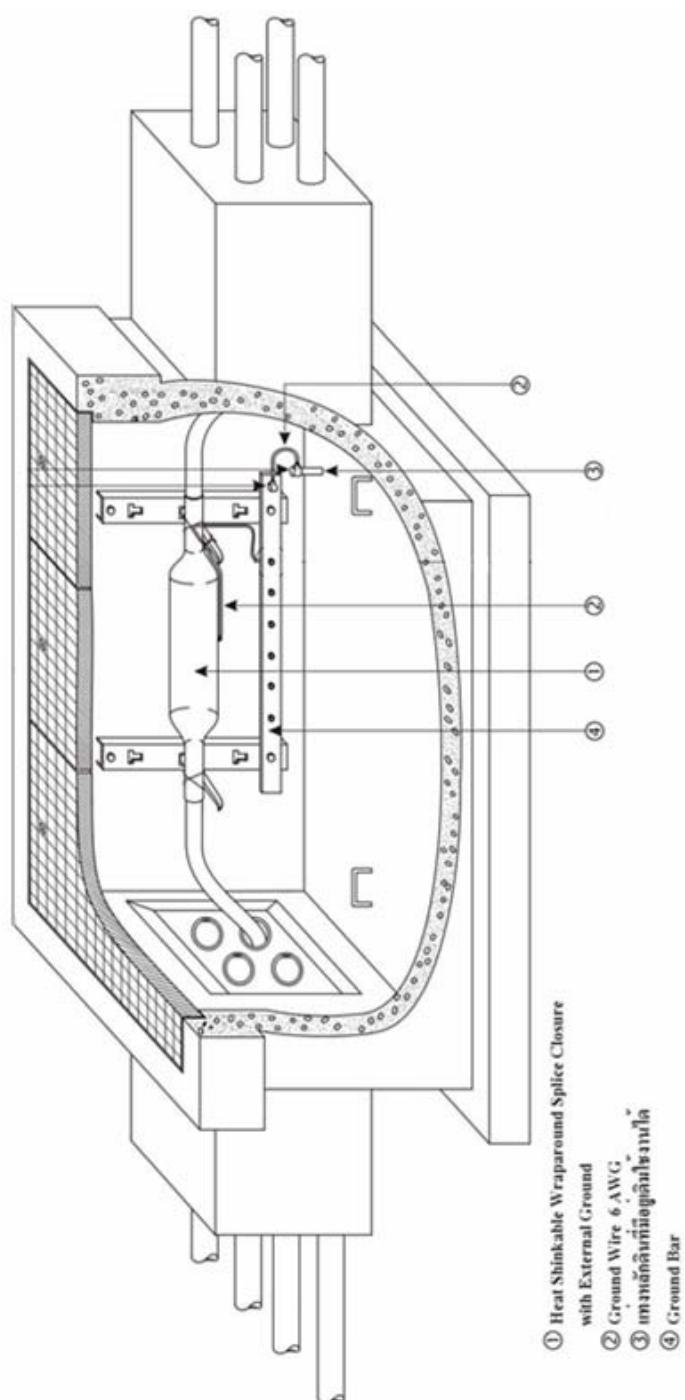
ภาพที่ 32 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักที่มีอยู่เดิม กรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้ได้เพียงหนึ่งแท่ง

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



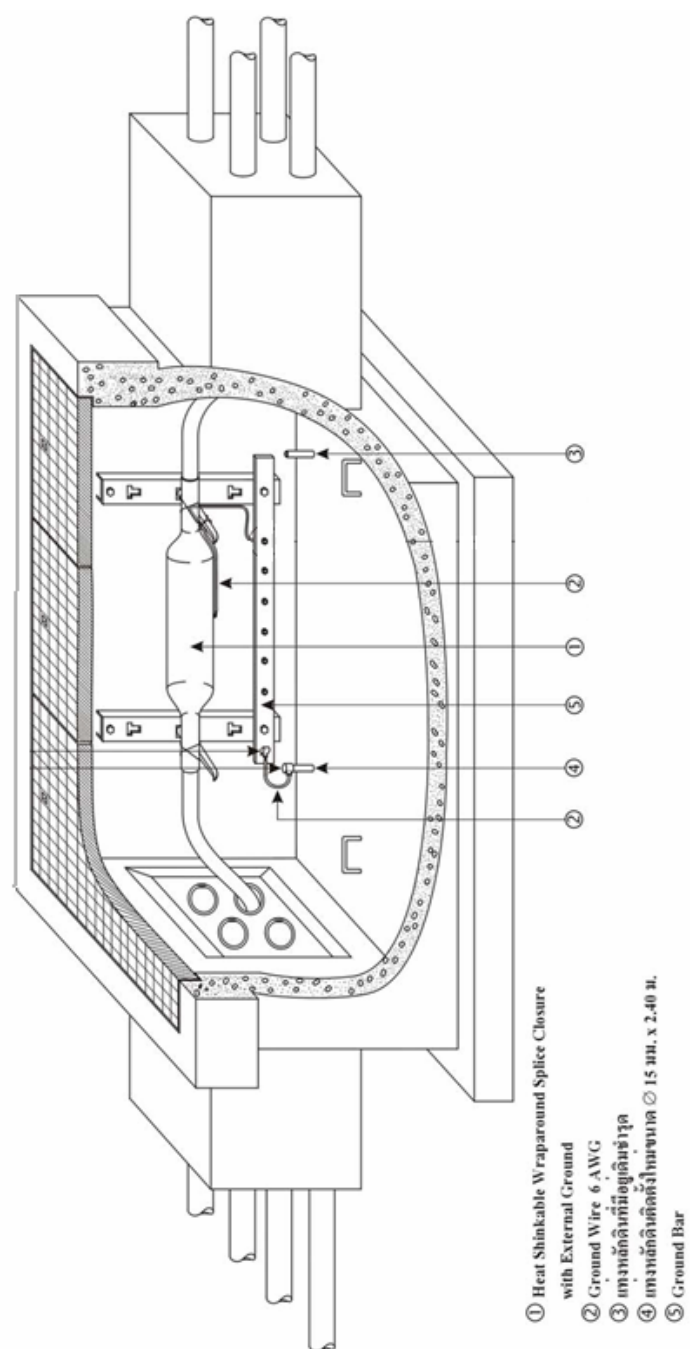
ภาพที่ 33 การติดตั้งแท่งหลักดินใหม่ Ground bar และการเชื่อมต่อสำหรับบ่อพักที่มีอยู่เดิม กรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมชำรุดทั้งสองแท่ง

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐาน โครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



ภาพที่ 34 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักย่อยที่มีอยู่เดิมและแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมใช้งานได้

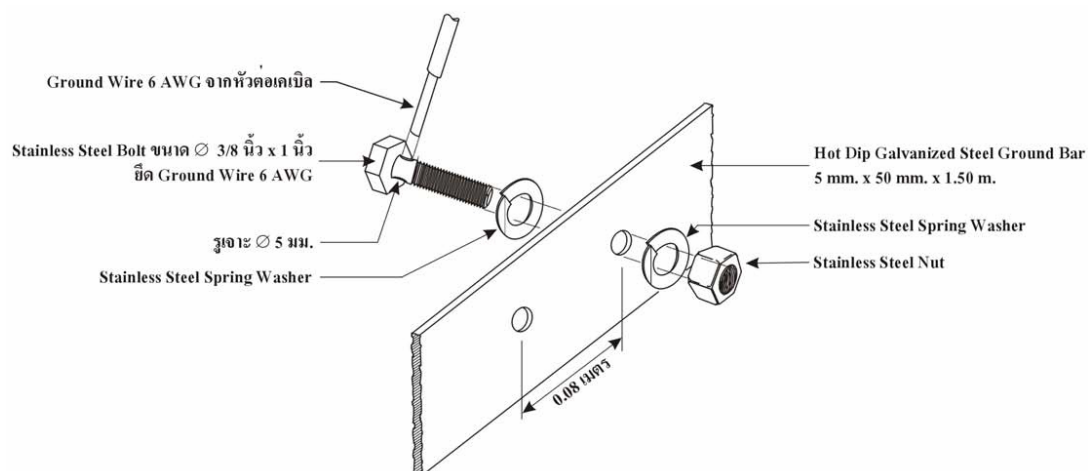
ที่มา: ฝ่ายมาตรฐาน โครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



ภาพที่ 35 การเชื่อมต่อ cable shield ground wire ground bar และแท่งหลักดินในบ่อพักย่อยที่มีอยู่เดิมกรณีแท่งหลักดินที่มีอยู่เดิมชำรุด

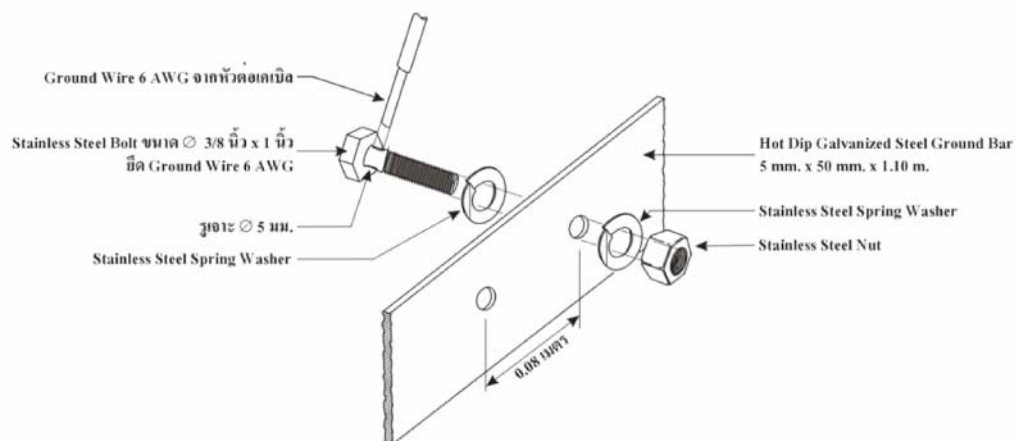
ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)





ภาพที่ 36 (a) การต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับ Ground Bar ของบ่อพัก

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



ภาพที่ 36 (b) การต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับ Ground Bar ของบ่อพักย่อย

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)

## 8. การติดตั้งระบบ Ground ตู้ผ่าน มีเงื่อนไขการติดตั้งดังนี้

8.1 การทำ Ground ตู้ผ่าน คือ บริเวณด้านในของฐานตู้ผ่าน หลังการติดตั้งแท่งหลักดินเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการตรวจสอบค่า Ground Resistance ของแท่งหลักดิน และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่งหลักดิน และ Cable Shield เทียบกับจุดอ้างอิง

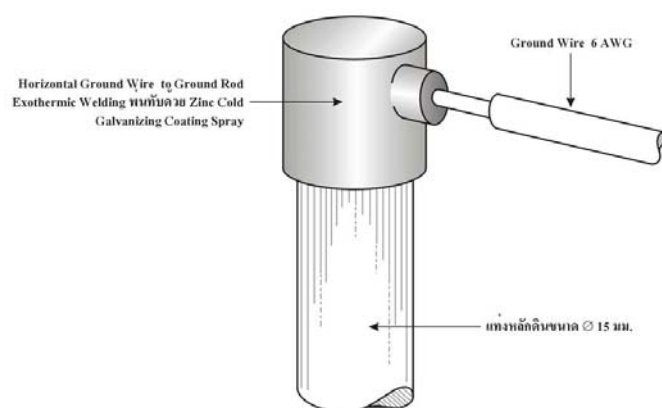
8.2 ค่า Ground Resistance ของแท่งหลักดิน มีค่าไม่เกิน 20      และไม่รับ Ground Return Current จากดิน

8.3 การเชื่อมต่อ Ground Wire เข้ากับแท่งหลักดิน ให้ดำเนินการดังนี้

8.3.1 กรณีงานจ้างเหมา ให้เชื่อมต่อโดยวิธี Exothermic Welding เท่านั้น พร้อมพ่นทับรอยเชื่อมด้วย Zinc Cold Galvanizing Coating Spray ตามภาพที่ 37

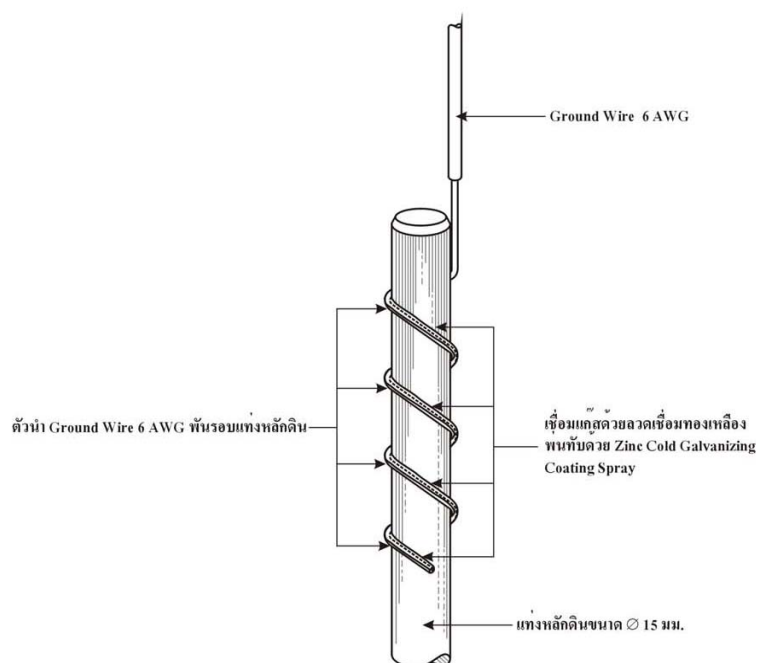
8.3.2 กรณีดำเนินการติดตั้งโดย บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ให้เชื่อมต่อโดยวิธี Exothermic Welding พร้อมพ่นทับรอยเชื่อมด้วย Zinc Cold Galvanizing Coating Spray เช่นเดียวกัน หากไม่สามารถดำเนินการด้วยเหตุผลอันควร ตัวอย่างเช่น Mould ชำรุดหรือผงเชื่อมหมด ซึ่งการจัดซื้ออาจล่าช้า ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) อนุโลมให้เชื่อมต่อ Ground Wire เข้ากับแท่งหลักดิน โดยวิธีการเชื่อมแก๊สด้วยลวดเชื่อมทองเหลือง พร้อมพ่นทับรอยเชื่อมด้วย Zinc Cold Galvanizing Coating Spray ตามภาพที่ 38

8.4 การเชื่อมต่อระหว่าง Ground Wire กับ Ground Bar ของตู้ผ่านใช้หางปลา (Terminal Lug) โคยรองด้วย Spring Washer และขันน็อต (Nut) ให้แน่น



ภาพที่ 37 การเชื่อมต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับแท่งหลักดินแบบ Single Ground Rod โดยวิธี Exothermic Welding

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐาน โครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)



ภาพที่ 38 การเชื่อมต่อ Ground Wire 6 AWG เข้ากับแท่งหลักดินแบบ Single Ground Rod โดยวิธี เชื่อมแก๊ส

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐาน โครงข่าย บมจ.ทีโอที (2548)

## 9. ความต้านทานของโล่กำบัง

เนื่องจากค่าความต้านทานชีลด์เคเบิลจะแปรผันตามอุณหภูมิ อุณหภูมิที่กำหนดให้นี้เป็นอุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งอาจมีค่าสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิเคเบิลขณะตรวจสอบจริง ดังนั้นค่าความต้านทานชีลด์เคเบิลที่ตรวจสอบได้ในภาคสนามจึงอาจสูงหรือต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าความต้านทานโล่กำบังของเคเบิลที่ตรวจสอบอาจมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้แต่ไม่เกิน 1.06 เท่า โดยถือว่าค่าที่สูงกว่าค่าที่คำนวณ 1.06 เท่านี้ เป็นค่าที่พอจะยอมรับได้ (Margin)

## 10. ค่ามาตรฐานของโล่กำบัง

ค่ามาตรฐานของโล่กำบังของเคเบิลจะกำหนดเป็นค่าความต้านทานต่อกิโลเมตร ณ อุณหภูมิใดๆ เนื่องจากค่าความต้านทานชีลด์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิด้วย ดังนั้นจึงกำหนดตารางแสดงค่าความต้านทานชีลด์เคเบิลต่อกิโลเมตร ณ อุณหภูมิใดๆ ตามที่ระบุไว้ด้านล่าง แต่ค่าที่ให้คำนวณให้ใช้ค่าที่อุณหภูมิ 36° (ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ. ทีโอที, 2548)

**ตารางที่ 1** แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของเคเบิล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.9 มม.

| คู่สาย | อุณหภูมิเคเบิล ( $^{\circ}\text{C}$ ) |       |       |       |       |       |       |       | ค่าความต้านทานของโล่กำบัง |
|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
|        | 28                                    | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    |                           |
| 25     | 2.581                                 | 2.601 | 2.621 | 2.641 | 2.661 | 2.681 | 2.702 | 2.722 |                           |
| 50     | 1.961                                 | 1.977 | 1.992 | 2.007 | 2.023 | 2.038 | 2.053 | 2.068 |                           |
| 100    | 1.548                                 | 1.560 | 1.573 | 1.585 | 1.597 | 1.609 | 1.621 | 1.633 |                           |
| 150    | 1.445                                 | 1.456 | 1.468 | 1.479 | 1.490 | 1.502 | 1.513 | 1.524 |                           |
| 200    | 1.239                                 | 1.248 | 1.258 | 1.268 | 1.277 | 1.287 | 1.297 | 1.306 |                           |
| 300    | 1.032                                 | 1.040 | 1.048 | 1.056 | 1.064 | 1.073 | 1.081 | 1.089 |                           |
| 400    | 0.919                                 | 0.926 | 0.933 | 0.940 | 0.947 | 0.955 | 0.962 | 0.969 |                           |
| 600    | 0.795                                 | 0.801 | 0.807 | 0.813 | 0.820 | 0.826 | 0.832 | 0.838 |                           |
| 900    | 0.640                                 | 0.645 | 0.650 | 0.655 | 0.660 | 0.665 | 0.670 | 0.675 |                           |

**ตารางที่ 2** แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของ  
เคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.65 มม.

| คู่สาย | อุณหภูมิเคเบิล ( $^{\circ}\text{C}$ ) |       |       |       |       |       |       |       | ค่าความต้านทานของโล่กำบัง |
|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
|        | 28                                    | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    |                           |
| 25     | 3.200                                 | 3.225 | 3.250 | 3.275 | 3.330 | 3.325 | 3.350 | 3.375 |                           |
| 50     | 2.477                                 | 2.497 | 2.516 | 2.535 | 2.555 | 2.574 | 2.593 | 2.613 |                           |
| 100    | 1.961                                 | 1.977 | 1.992 | 2.007 | 2.023 | 2.038 | 2.053 | 2.068 |                           |
| 150    | 1.755                                 | 1.769 | 1.782 | 1.796 | 1.810 | 1.823 | 1.837 | 1.851 |                           |
| 200    | 1.548                                 | 1.560 | 1.573 | 1.585 | 1.597 | 1.609 | 1.621 | 1.633 |                           |
| 300    | 1.342                                 | 1.352 | 1.363 | 1.373 | 1.384 | 1.394 | 1.405 | 1.415 |                           |
| 400    | 1.135                                 | 1.144 | 1.153 | 1.162 | 1.171 | 1.180 | 1.189 | 1.198 |                           |
| 600    | 1.032                                 | 1.040 | 1.048 | 1.056 | 1.064 | 1.073 | 1.081 | 1.089 |                           |
| 900    | 0.888                                 | 0.895 | 0.902 | 0.909 | 0.915 | 0.922 | 0.929 | 0.936 |                           |
| 1200   | 0.764                                 | 0.770 | 0.776 | 0.782 | 0.788 | 0.794 | 0.800 | 0.806 |                           |
| 1500   | 0.712                                 | 0.718 | 0.723 | 0.729 | 0.734 | 0.740 | 0.746 | 0.751 |                           |

**ตารางที่ 3** แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของ  
เคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.5 มม.

| คู่สาย | อุณหภูมิเคเบิล ( $^{\circ}\text{C}$ ) |       |       |       |       |       |       |       | ค่าความต้านทานของโล่กำบัง |
|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
|        | 28                                    | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    |                           |
| 25     | 3.923                                 | 3.953 | 3.984 | 4.014 | 4.045 | 4.076 | 4.106 | 4.137 |                           |
| 50     | 2.993                                 | 3.017 | 3.040 | 3.064 | 3.087 | 3.110 | 3.134 | 3.157 |                           |
| 100    | 2.271                                 | 2.289 | 2.306 | 2.324 | 2.342 | 2.360 | 2.377 | 2.395 |                           |
| 150    | 2.064                                 | 2.081 | 2.097 | 2.113 | 2.129 | 2.145 | 2.161 | 2.177 |                           |
| 200    | 1.858                                 | 1.873 | 1.887 | 1.902 | 1.916 | 1.931 | 1.945 | 1.960 |                           |
| 300    | 1.755                                 | 1.769 | 1.782 | 1.796 | 1.810 | 1.823 | 1.837 | 1.851 |                           |
| 400    | 1.445                                 | 1.456 | 1.468 | 1.479 | 1.490 | 1.502 | 1.513 | 1.524 |                           |
| 600    | 1.342                                 | 1.352 | 1.363 | 1.373 | 1.384 | 1.394 | 1.405 | 1.415 |                           |
| 900    | 1.125                                 | 1.134 | 1.143 | 1.151 | 1.160 | 1.169 | 1.178 | 1.187 |                           |
| 1200   | 0.826                                 | 0.832 | 0.839 | 0.845 | 0.852 | 0.858 | 0.864 | 0.871 |                           |
| 1500   | 0.888                                 | 0.895 | 0.902 | 0.909 | 0.915 | 0.922 | 0.929 | 0.936 |                           |

**ตารางที่ 4** แสดงค่า ALUMINUM SHIELD RESISTANCE ( $\Omega/\text{km}$ ) ณ อุณหภูมิใด ๆ ของ  
เคเบิลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ 0.4 มม.

| คู่สาย | อุณหภูมิเคเบิล ( $^{\circ}\text{C}$ ) |       |       |       |       |       |       |       | ค่าความต้านทานของโล่กำบัง |
|--------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
|        | 28                                    | 30    | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    |                           |
| 25     | 4.439                                 | 4.473 | 4.508 | 4.543 | 4.577 | 4.612 | 4.647 | 4.681 |                           |
| 50     | 3.510                                 | 3.537 | 3.564 | 3.592 | 3.619 | 3.647 | 3.674 | 3.701 |                           |
| 100    | 2.890                                 | 2.913 | 2.935 | 2.958 | 2.981 | 3.003 | 3.026 | 3.048 |                           |
| 150    | 2.684                                 | 2.705 | 2.726 | 2.747 | 2.768 | 2.789 | 2.810 | 2.831 |                           |
| 200    | 2.477                                 | 2.497 | 2.516 | 2.535 | 2.555 | 2.574 | 2.593 | 2.613 |                           |
| 300    | 2.064                                 | 2.081 | 2.097 | 2.113 | 2.129 | 2.145 | 2.161 | 2.177 |                           |
| 400    | 1.755                                 | 1.769 | 1.782 | 1.796 | 1.810 | 1.823 | 1.837 | 1.851 |                           |
| 600    | 1.445                                 | 1.456 | 1.468 | 1.479 | 1.490 | 1.502 | 1.513 | 1.524 |                           |
| 900    | 1.239                                 | 1.248 | 1.258 | 1.268 | 1.277 | 1.287 | 1.297 | 1.306 |                           |
| 1200   | 1.228                                 | 1.238 | 1.248 | 1.257 | 1.267 | 1.276 | 1.286 | 1.296 |                           |
| 1500   | 1.084                                 | 1.092 | 1.101 | 1.109 | 1.118 | 1.126 | 1.135 | 1.143 |                           |

### การต่อลงดินของหุ้มสายโทรศัพท์

#### 1. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของระบบการต่อลงดินสำหรับอุปกรณ์หุ้มสาย และ อุปกรณ์สื่อสารสัญญาณของบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) มีดังต่อไปนี้ (ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที, 2548)

##### 1.1 เพื่อสร้างความปลอดภัยต่อบุคลากร เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

1.2 เพื่อการควบคุมสัญญาณรบกวน (Noise) กระแสกระชอก (Surge) ความต่างศักย์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ชุมสายและอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ และส่งเสริมให้เกิดคุณภาพบริการที่มีประสิทธิภาพ

1.3 เพื่อให้เป็นไปตามหลักการสากล และสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม โดยนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกันให้เกิดความเหมาะสม

1.4 ความต้านทานการต่อลงดิน (Earth Resistance) ควรมีค่าต่ำเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม เป็นค่าคงตัวถาวร จะไม่เปลี่ยนค่าไปตามฤดูกาล

1.5 การตรวจสอบระบบการต่อลงดิน และค่าความต้านทานการต่อลงดิน หลังจากที่มีการใช้งานไปแล้วจะต้องทำการตรวจสอบระบบการต่อลงดินอีกครั้งเพื่อดูแลรักษาได้ง่าย

## 2. ระบบต่อลงดินชุมสายโทรศัพท์และอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ

เนื้องานด้านอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสารสัญญาณประกอบด้วยงาน Cable Vault , MDF, Power Plant , อุปกรณ์เครื่องชุมสาย และอุปกรณ์เครื่องสื่อสารสัญญาณ

## 3. ชนิดของชุมสายโทรศัพท์ แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

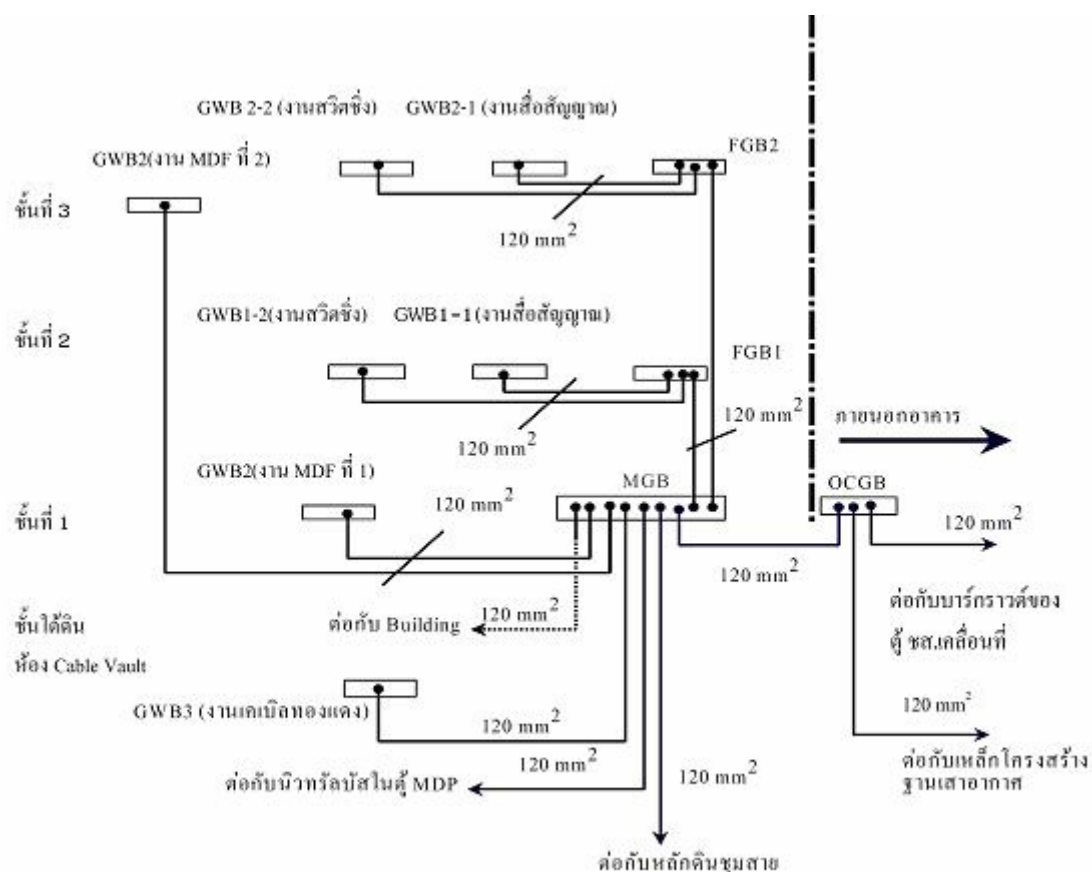
### 3.1 ชุมสาย MSU

### 3.2 ชุมสาย RLU/RSU

### 3.3 ชุมสาย Mobile Container



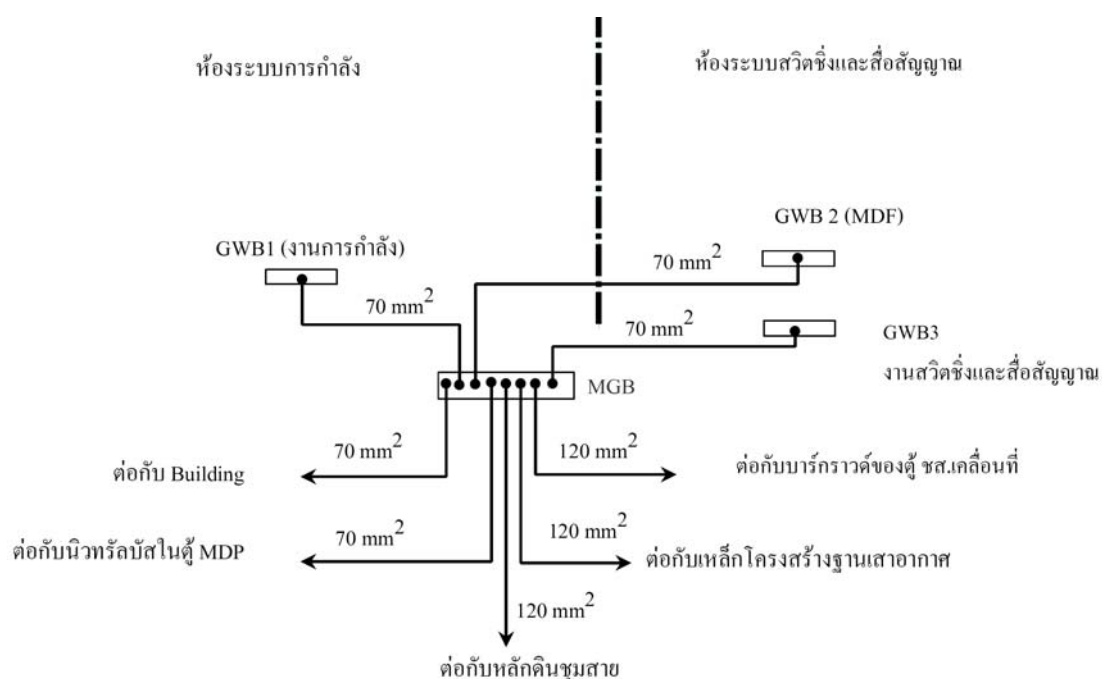
3.1 ชุมสาย MSU (Main Switching Unit) หมายถึง ชุมสายซึ่งติดตั้งภายในอาคาร ที่มีเครื่องอุปกรณ์ชุมสาย MSU และ เครื่องอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ ทำหน้าที่เป็น ชุมสายแม่จัดเป็นชุมสายที่มีความสำคัญสูง โดยทั่วไปเป็นลักษณะอาคารชุมสายที่มีจำนวนชั้นมากกว่า 1 ชั้น (ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที, 2548)



ภาพที่ 39 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสารสัญญาณ สำหรับชุมสาย MSU

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที (2548)

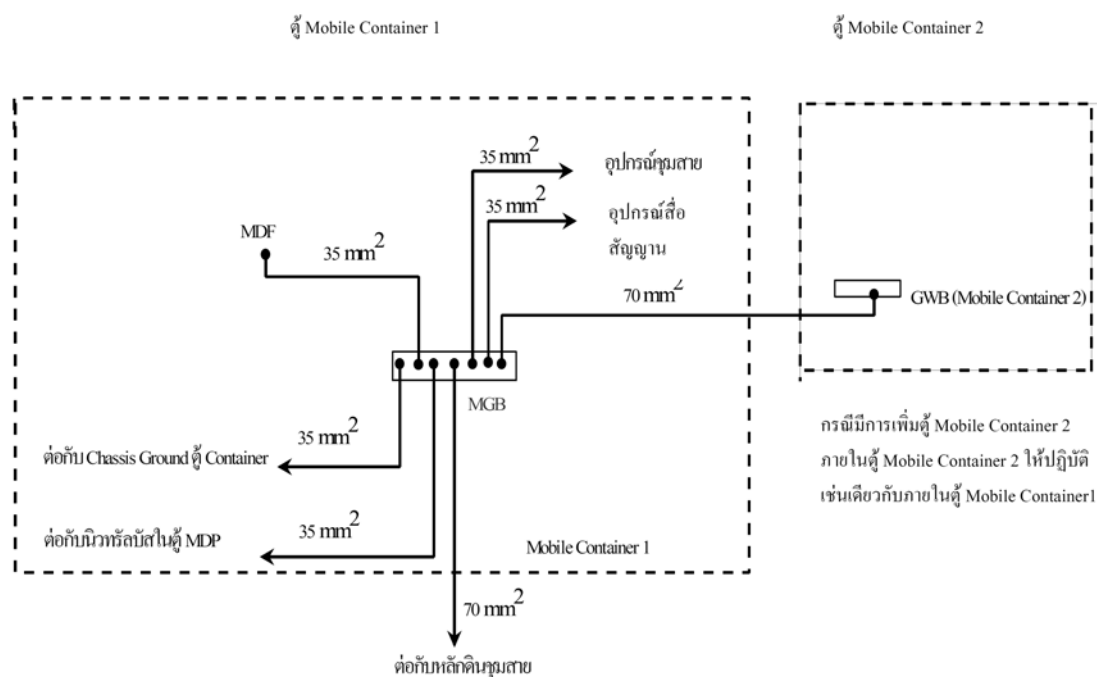
3.2 ชุมสาย RLU/RSU (Remote Line Unit/Remote Switching Unit) หมายถึง ชุมสายที่ติดตั้งภายในอาคาร ที่มีเครื่องอุปกรณ์ชุมสาย RLU/RSU และเครื่องอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณโดยทั่วไป เป็นลักษณะอาคารชุมสายชั้นเดียวประกอบ ด้วยห้องการกำลังและห้องสื่อสารสัญญาณ/ วิทยุ (ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที, 2548)



ภาพที่ 40 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสารสัญญาณ สำหรับชุมสาย RLU/RSU

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที (2548)

3.3 ชุมสาย Mobile Container หมายถึง ตู้ชุมสายเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเป็นลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ชุมสาย อุปกรณ์สื่อสัญญาณสำเร็จในตัวชุมสาย (ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที, 2548)



ภาพที่ 41 วงจรการต่อสายดินอุปกรณ์ชุมสายและสื่อสัญญาณสำหรับชุมสาย Mobile Container

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที (2548)

#### 4. มาตรฐานระบบต่อลงดินชุมสาย MSU

4.1 หลักดินชุมสาย กำหนดให้ใช้ท่อ Stainless ประเภท 304 ตามมาตรฐานสากล (เช่น ASTM, BS, JIS, มอก. เป็นต้น) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่เล็กกว่า 1 นิ้ว และ มีความหนาไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (ประมาณ 3 มิลลิเมตร) และความยาว 6 เมตร

4.2 ค่าความต้านทานต่อลงดินควรมีค่าความต้านทานต่ำเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม และ กำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม เมื่อวัดเทียบกับ Common Earth ( = 0 โอห์ม-เมตร) วิธีการลดค่าความต้านทานทำได้โดย เพิ่มระดับความลึกของหลักดินชุมสายต้นเดียว (Single Rod) ในกรณี

พื้นที่ ที่ไม่สามารถลดค่าความต้านทานให้น้อยกว่า 0.5 โอห์ม ให้หยุดการเจาะฝังหลักดินชุมสายที่ระดับความลึก 100 เมตร

4.3 การเพิ่มความยาวของหลักดินชุมสาย ให้ใช้ข้อต่อตรง Stainless แบบมีเกลียวขันอัดให้แน่นแล้วเชื่อมด้วยไฟฟ้าที่รอยต่อทั้ง 2 ด้าน ด้วยลวดเชื่อม Stainless

#### 4.4 สายดินชุมสาย และ การติดตั้ง

4.4.1 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังหลักดินชุมสาย ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.2 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายัง บาร์ FGB ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.3 สายดินหลักที่ต่อจาก บาร์ MGB มายังบาร์ OCGB ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.4 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังบาร์ GWB (งาน Cable Vault) ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.5 สายดินหลักที่ต่อจาก บาร์ MGB มายัง บาร์ GWB (งาน MDF) ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.6 สายดินหลักที่ต่อจาก บาร์ MGB มายัง บาร์ OCGB หรือ เหล็กโครงสร้างของฐานเสาอากาศ ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.7 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายัง บาร์ OCGB หรือ บาร์ GWB (ผู้หุ้มสาย Container) ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.8 สายดินที่ต่อจาก บาร์ MGB มายัง บาร์ Neutral ของตู้ MDP หุ้มสาย ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือให้ใช้ประเภทสายและขนาดเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง

4.4.9 สายดินที่ต่อจากบาร์ MGB มายัง เหล็กโครงสร้างอาคาร และ/หรือ หลักดินอาคารและ/หรือ ระบบต่อลงดินเก่า และ/หรือ ตัวนำดาข่ายร่างแหใต้ดิน ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.10 สายดินที่ต่อจาก บาร์ FGB ในแต่ละชั้น มายัง บาร์ GWB ของอุปกรณ์ที่มีความเปราะบาง ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

4.4.11 สายดินที่ต่อจาก บาร์ GWB ของแต่ละห้อง มายัง อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ให้ใช้สาย ทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือให้ใช้ประเภทสายและขนาดสาย ตามที่เครื่องมือแต่ละชนิดที่กำหนดมา โดยกำหนดให้ใช้สีฉนวนของสายเป็นสีเขียวเท่านั้น

4.5 ขั้วบวกของอุปกรณ์ DC Power Plant (ขั้วบวก เครื่อง Rectifier หุ้มสาย) ให้ต่อกับระบบลงดินที่ตำแหน่ง บาร์ MGB หรือ บาร์ FGB หรือ บาร์ GWB โดยใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือให้ใช้ประเภทสายและขนาดสายตามที่อุปกรณ์กำหนดมา โดยกำหนดให้สีฉนวนของสายไฟเป็นสีเขียวเท่านั้น

#### 4.6 แผ่นกราวด์บาร์และการติดตั้ง

4.6.1 แผ่นบาร์ MGB ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด 100 x 450 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร และมีการเจาะรูจำนวน 22 รู (11 แถว) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร การยึดกราวด์บาร์เข้ากับผนังอาคาร ต้องมีลูกถ้วยเป็นตัวกั้นกลาง 4 จุด

4.6.2 แผ่นบาร์ OCGB บาร์ FGB และ บาร์ GWB ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด 100 x 300 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตรและ มีการเจาะรูจำนวน 14 รู (7 แถว) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร การยึดกราวด์บาร์เข้ากับผนังอาคาร ต้องมีลูกถ้วยเป็นตัวกั้นกลาง 2 จุด

4.6.3 แผ่น Lug ชนิด 2 รู ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด  $1 \times 4 \frac{1}{4}$  นิ้ว (25.4 x 108 มิลลิเมตร) หนา  $\frac{3}{16}$  นิ้ว (4 มิลลิเมตร) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร

4.6.4 น็อตที่ใช้ยึด Lug 2 รู เข้ากับแผ่นกราวด์บาร์ ใช้ น็อต Stainless ขนาด 10 มิลลิเมตร พร้อมทั้งแหวนรองและแหวนสปริง

#### 4.7 การเชื่อมต่อสายดินหุ้มสาย

4.7.1 ปลายสายดินหลักด้านที่ต่อเข้ากับแท่งหลักดินหุ้มสายให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic และป้องกันรอยเชื่อมด้วยวัสดุกันสนิม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic เพื่อยึดเข้ากับบาร์ MGB

4.7.2 ปลายสายดินหลักที่มาจากฐานเสาอากาศให้ต่อเชื่อมแบบ Exothermic เข้ากับ Lug แบบ 2 รู เพื่อยึดเข้ากับบาร์ MGB ส่วนปลายสายด้านที่ต่อเข้ากับฐานเสาอากาศให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic โดยตรงหรือเชื่อมแบบ Exothermic เข้ากับ Lug แบบ 2 รู ขันยึดเข้ากับฐานเสาอากาศโดยใช้ น็อตของฐานเสาเดิมห้ามเจาะเสาอากาศโดยเด็ดขาด

4.7.3 ปลายสายดินหลักเส้นที่มาจากบาร์ MGB มายัง บาร์ GWB (ตู้ชุมสาย Mobile Container) ปลายทั้ง 2 ด้านให้ต่อกับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic

4.7.4 สายดินจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือสื่อสารในแต่ละห้อง ปลายสายต่อกับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic หรือ ใช้หางปลา แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมต่อเป็นแบบบีบอัด ด้วยเครื่องไฮดรอลิก

4.7.5 สายดินและสายดินหลักที่ต่อระหว่างแผ่นบาร์ GWB บาร์ FGB หรือ บาร์ OCGB ปลายสายแต่ละด้านให้ต่อกับ แผ่น Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic

4.7.6 การยึด Lug และ/หรือ หางปลาแบบ 2 รู เข้ากับแผ่น บาร์กราวด์ ให้ใช้วิธีขันน็อต 2 จุด

4.8 การติดป้ายชื่อสายดินชุมสาย ให้ติดป้ายชื่อสายดินชุมสายบริเวณตำแหน่งบาร์ MGB และ บาร์ OCGB ตามที่ระบุ โดยการปั๊มชื่อลงบนแผ่น Stainless ขนาดประมาณ 1.5 x 12 เซนติเมตร แล้วนำมามัดติดกับสายให้แน่นโดยสายรัดหรือแถบรัดแบบ Stainless

4.9 หลุมหลักดินที่ทำจากวิธีเจาะ เมื่อปักหลักดินชุมสายลงในหลุมให้ทำการอุดช่องว่าง (Seal) ระหว่างผนังหลุมหลักดินกับผิวหลักดินให้เต็มด้วย Bentonite ผสมกับโคลนดินเหนียว ในอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร

4.10 บ่อหลักดินชุมสาย ให้ใช้บ่อสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 40 x 50 x 30 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สร้างเป็นกรอบปากบ่อ เมื่อปิดฝาบ่อต้องได้ระดับเสมอกับระดับพื้น

4.11 ฝาปิดบ่อหลักดิน ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถปิด-เปิดได้สะดวก โดยใช้เป็นฝาคอนกรีตสำเร็จรูป หรือฝาเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว และ ต้องทาสีกันสนิมด้วย

4.12 สำหรับหลักดินชุมสายที่ได้จากการเจาะเมื่อทำการ Seal เสร็จแล้ว และหลักดินชุมสายที่ได้จากการตอก ก่อนที่จะทำการต่อเข้ากับระบบให้วัดค่าความต้านทานลงดิน ลงบันทึกค่า

และรายงานให้กับเจ้าหน้าที่การกำลัง บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) เพื่อบันทึกประวัติการต่อลงดิน  
 ชุมสาย พร้อมกับบันทึกลงบนป้าย Stainless ของสายหลักดินชุมสาย

4.13 สำหรับ Optical Fiber Cable ห้ามต่อเชื่อมตัวนำไฟฟ้าในโครงสร้างเคเบิล และ  
 สาย Strand กับระบบต่อลงดินชุมสาย โดยใช้ Electrical Tape พันเพื่อป้องกันปลายตัวนำไฟฟ้า  
 และสาย Strand ไปสัมผัสกับ Optical Joint Box และส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ในชุมสาย

## 5. มาตรฐานระบบต่อลงดินชุมสาย RLU/RSU

5.1 หลักดินชุมสาย กำหนดให้ใช้ท่อ Stainless ประเภท 304 ตามมาตรฐานสากล (เช่น  
 ASTM, BS, JIS, มอก. เป็นต้น) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่เล็กกว่า 1 นิ้ว และมีความหนา  
 ไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (ประมาณ 3 มิลลิเมตร) และความยาว 6 เมตร

5.2 ค่าความต้านทานต่อลงดินควรมีค่าความต้านทานต่ำเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม และ  
 กำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 0.5 โอห์ม เมื่อวัดเทียบกับ Common Earth ( = 0 โอห์ม-เมตร) วิธีการลด  
 ค่าความต้านทานทำได้โดย เพิ่มระดับความลึกของหลักดินชุมสายดินเดี่ยว (Single Rod) ในกรณี  
 พื้นที่ ที่ไม่สามารถลดค่าความต้านทานให้น้อยกว่า 0.5 โอห์ม ให้หยุดการเจาะฝังหลักดินชุมสายที่  
 ระดับความลึก 100 เมตร

5.3 การเพิ่มความยาวของหลักดินชุมสาย ให้ใช้ข้อต่อตรง Stainless แบบมีเกลียว โดย  
 ขันอัดให้แน่นแล้วเชื่อมด้วยไฟฟ้าที่รอยต่อทั้ง 2 ด้าน ด้วยลวดเชื่อม Stainless

## 5.4 สายดินชุมสาย และ การติดตั้ง

5.4.1 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังหลักดินชุมสายใช้สายทองแดง THW  
 หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทน  
 แรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.4.2 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายัง บาร์ GWB (การกำลัง) ในห้องการ  
 กำลังใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดง ไม่เล็กกว่า 70 ตาราง  
 มิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์



5.4.3 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังบาร์ GWB (สวิตซ์) ในห้องสื่อสาร / วิทยุ ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.4.4 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังบาร์ GWB (MDF) ในห้องสื่อสาร / วิทยุ ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดง ไม่ต่ำกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.4.5 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังหลักโครงสร้างฐานเสาอากาศใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.4.6 สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังบาร์ GWB (ตู้ Mobile Container) ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 120 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.4.7 สายดินที่ต่อจากอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ มายังบาร์ GWB (การกำลัง), บาร์ GWB (MDF) บาร์ GWB (สวิตซ์) และ บาร์ GWB (ตู้ Mobile Container) ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาดสายตามที่เครื่องมือแต่ละชนิดที่กำหนดมา โดยกำหนดให้ฉนวนเป็นสีเขียว

5.4.8 สายดินที่ต่อจาก บาร์ MGB มายัง บาร์ Neutral ของตู้ MDP ชุมสาย ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาด เป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง

5.4.9 สายดินที่ต่อบาร์ MGB มายังหลักโครงสร้างอาคาร และ/หรือหลักดินอาคาร และ/หรือ ระบบต่อลงดินเก่า และ/หรือ ตารางดาข่ายใต้ดิน ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่ต่ำกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

5.5 ขั้วบวกของอุปกรณ์ DC Power Plant (ขั้วบวก เครื่อง Rectifier ชุมสาย) ให้ต่อกับระบบลงดินที่ตำแหน่ง บาร์ GWB (การกำลั้ง) โดยใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาดสายตามี่อุปกรณ์กำหนดมา โดยกำหนดฉนวนเป็นสีเขียว

## 5.6 แผ่น กราวด์บาร์ และ การติดตั้ง

5.6.1 แผ่นบาร์ MGB ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยขนาดกว้าง 100 x 450 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร และมีการเจาะรูจำนวน 22 รู (11 แถว) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร การยึดกราวด์บาร์เข้ากับผนังอาคาร ต้องมีลูกถ้วยเป็นตัวกั้นกลาง 4 จุด

5.6.2 แผ่นบาร์ GWB ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด 100 x 300 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร และมีการเจาะรูจำนวน 14 รู (7 แถว) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร การยึดกราวด์บาร์เข้ากับผนังอาคาร ต้องมีลูกถ้วยเป็นตัวกั้นกลาง 2 จุด

5.7 แผ่น Lug ชนิด 2 รู ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด 1 x 4 1/4 นิ้ว (25.4 x 108 มิลลิเมตร) หนา 3/16 นิ้ว (4 มิลลิเมตร) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร

5.8 น็อตที่ใช้ยึด Lug 2 รู เข้ากับแผ่นกราวด์บาร์ ใช้น็อต Stainless ขนาด 10 มิลลิเมตร พร้อมทั้งแหวนรองและแหวนสปริง

## 5.9 การเชื่อมต่อสายดินชุมสาย

5.9.1 ปลายสายดินหลักด้านที่ต่อเข้ากับแท่งหลักดินชุมสายให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic และป้องกันด้วยวัสดุกันสนิม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic เพื่อยึดเข้ากับบาร์ MGB

5.9.2 ปลายสายดินหลักที่มาจากฐานเสาอากาศให้ต่อเชื่อมแบบ Exothermic เข้ากับ Lug แบบ 2 รู เพื่อยึดเข้ากับบาร์ MGB ส่วนปลายสายด้านที่ต่อเข้ากับฐานเสาอากาศให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic โดยตรงหรือเชื่อมแบบ Exothermic ต่อเข้ากับ Lug แบบ 2 รู ขันยึดเข้ากับฐานเสาอากาศโดยใช้น็อตของฐานเสาเดิม ห้ามเจาะเสาอากาศเด็ดขาด

5.9.3 ปลายสายดินหลักจากบาร์ GWB (ตู้ชุมสาย Mobile Container) มายังบาร์ MGB โดยปลายสายทั้ง 2 ด้านให้ต่อเข้ากับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic

5.9.4 สายดินจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือสื่อสารในแต่ละห้อง ปลายสายต่อกับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic หรือ หางปลา แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมต่อเป็นแบบการบีบอัดด้วยเครื่อง Hydraulics

5.9.5 สายดินหลักที่ต่อระหว่างแผ่นบาร์ GWB (การกำลัง) บาร์ GWB (MDF) บาร์ GWB(สวิตชิง) มายังบาร์ MGB ปลายสายทั้งหมด ให้ต่อกับแผ่น Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic

5.9.6 การยึด Lug และ/หรือ หางปลา แบบ 2 รู เข้ากับแผ่นบาร์กราวด์ให้ใช้วิธีขันน็อต 2 จุด

5.10 การติดป้ายชื่อสายดินชุมสาย ให้ติดป้ายชื่อสายดินชุมสายบริเวณตำแหน่งบาร์ MGB และบาร์ OCGB ตามที่ระบุโดยการปั๊มชื่อลงบนแผ่น Stainless ขนาดประมาณ 1.5x12 เซนติเมตร แล้วนำมามัดติด กับสายดินให้แน่น โดยสายรัดหรือแถบรัดแบบ Stainless

5.11 หลุมหลักดินที่ทำจากวิธีเจาะ เมื่อปักหลักดินชุมสายลงในหลุมให้ทำการอุดช่องว่าง (Seal) ระหว่างผนังหลุมหลักดินกับผิวหลักดิน ให้เต็มด้วย Bentonite ผสมกับโคลนดินเหนียวอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร

5.12 บ่อหลักดินชุมสาย ให้ใช้บ่อสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 40 x 50 x 30 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สร้างเป็นกรอบปากบ่อ เมื่อปิดฝาบ่อต้องได้ระดับเสมอกับระดับพื้น

5.13 ฝาปิดบ่อหลักดิน ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถปิด-เปิดได้สะดวก โดยใช้เป็นฝาคอนกรีตสำเร็จรูป หรือ ฝาเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว และต้องทาสีกันสนิมด้วย

5.14 หลักดินชุมสายที่ได้จากการเจาะเมื่อทำการ Seal เสร็จแล้ว ก่อนที่จะทำการต่อเข้ากับระบบให้วัดค่าความต้านทานลงดิน ลงบันทึกค่าและรายงานให้กับเจ้าหน้าที่การกำลัง บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) เพื่อบันทึกประวัติการต่อลงดินชุมสาย พร้อมกับบันทึกค่าลงบนป้าย Stainless ของสายหลักดินชุมสาย

5.15 สำหรับ Optical Fiber Cable ห้ามต่อเชื่อมตัวนำไฟฟ้าในโครงสร้างเคเบิล และสาย Strand กับระบบต่อลงดินชุมสาย โดยใช้ Electrical Tape พันเพื่อป้องกันปลายตัวนำไฟฟ้าและสาย Strand ไปสัมผัสกับ Optical Joint Box และส่วนที่เป็นโลหะอื่นๆ ในชุมสาย

## 6. มาตรฐานระบบต่อลงดินชุมสาย Mobile Container

6.1 หลักดินชุมสาย กำหนดให้ใช้ท่อ Stainless ประเภท 304 ตามมาตรฐานสากล (เช่น ASTM, BS, JIS, มอก. เป็นต้น) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่เล็กกว่า 1 นิ้ว มีความหนาไม่น้อยกว่า 1/8 นิ้ว (ประมาณ 3 มิลลิเมตร) และความยาว 6 เมตร

6.2 ค่าความต้านทานต่อลงดิน ควรจะมีค่าความต้านทานต่ำเข้าใกล้ศูนย์โอห์ม และกำหนดให้มีค่าความต้านทานน้อยกว่า 1 โอห์มเมื่อวัดเทียบกับ Common Earth ( = 0 โอห์ม-เมตร) และ ความลึกไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีพื้นที่ที่ไม่สามารถลดค่าความต้านทานให้น้อยกว่า 1 โอห์ม ให้ดำเนินการ ดังต่อไปนี้

6.2.1 ชุมสาย Container ขนาดไม่เกิน 512 เลขหมาย ให้ยุติที่ความลึก 12 เมตร

6.2.2 ชุมสาย Container ขนาดไม่เกิน 1,024 เลขหมาย ให้ยุติที่ความลึก 18 เมตร

6.2.3 ชุมสาย Container ขนาดไม่เกิน 2,048 เลขหมาย ให้ยุติที่ความลึก 30 เมตร

6.3 การเพิ่มความยาวของหลักดินชุมสาย ให้ใช้ข้อต่อตรง Stainless แบบมีเกลียว โดยการขันอัดให้แน่นแล้วเชื่อมด้วยไฟฟ้าที่รอยต่อทั้ง 2 ด้าน ด้วยลวดเชื่อม Stainless

## 6.4 สายดินชุมสาย และ การติดตั้ง

6.4.1 ชุมสาย Container ที่มีเลขหมายไม่เกิน 512 เลขหมาย ให้ใช้สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังหลักดินชุมสายใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

6.4.2 ชุมสาย Container ที่มีเลขหมายมากกว่า 512 เลขหมาย ให้ใช้สายดินหลักที่ต่อจากบาร์ MGB มายังหลักดินชุมสายใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

6.4.3 สายดินที่ต่อจากบาร์ MGB มายังอุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ภายในตู้ Container ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาดสาย ตามที่เครื่องมือแต่ละชนิดที่กำหนดมา โดยกำหนดให้ใช้ฉนวนของสายเป็นสีเขียว

6.4.4 สายดินที่ต่อจากบาร์ MGB มายังบาร์ Neutral ของตู้ Main Switch Supply ให้ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาดสาย เป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง

6.5 ขั้วบวกของอุปกรณ์ DC Power Plant (ขั้วบวก เครื่อง Rectifier ตู้ Container) ให้ต่อกับ บาร์ MGB ใช้สายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียว มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 35 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์ หรือ ให้ใช้ประเภทสายและขนาดสายตามที่อุปกรณ์กำหนดมา โดยกำหนดให้ฉนวนเป็นสีเขียว

6.6 แผ่นกราวด์ บาร์ MGB กำหนดให้มีขนาดเท่ากับบาร์ GWB ของชุมสาย MSU ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุกความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด 100 x 300 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร และมีการเจาะรูจำนวน 14 รู (7 แถว) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร การยึดกราวด์บาร์เข้ากับผนังอาคาร ต้องมีลูกถ้วยเป็นตัวกั้นกลาง 2 จุด

6.7 แผ่น Lug ชนิด 2 รู ทำจากแผ่นทองแดงเรียบชุบดีบุก ความหนาไม่น้อยกว่า 10 ไมครอน โดยมีขนาด  $1 \times 4 \frac{1}{4}$  นิ้ว (25.4 x 108 มิลลิเมตร) หนา  $\frac{3}{16}$  นิ้ว (4 มิลลิเมตร) โดยมีขนาดรูเจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร

6.8 น็อตที่ใช้ยึด Lug 2 รู เข้ากับแผ่นกราวด์บาร์ ใช้น็อต Stainless ขนาด 10 มิลลิเมตร พร้อมทั้งแหวนรองและแหวนสปริง

#### 6.9 การเชื่อมต่อสายดินขุมสาย

6.9.1 ปลายสายดินหลักด้านที่ต่อเข้ากับแท่งหลักดินขุมสาย ให้ใช้วิธีเชื่อมแบบ Exothermic และป้องกันรอยเชื่อมด้วยวัสดุกันสนิม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ Lug แบบ 2 รู โดยวิธีเชื่อมแบบ Exothermic หรือ หางปลาชนิด 2 รู แบบ บีบอัดด้วยเครื่อง Hydraulics

6.9.2 สายดินจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือสื่อสาร ในตู้ Container ปลายสายที่ต่อมายังบาร์ MGB ให้ใช้หางปลา แบบบีบอัด โดยกำหนดฉนวนเป็นสีเขียว

6.10 การติดป้ายชื่อสายดินขุมสาย ให้ติดป้ายชื่อสายดินขุมสายบริเวณตำแหน่งบาร์ MGB ตามที่ระบุ โดยการปั๊มชื่อลงบนแผ่น Stainless ขนาดประมาณ  $1.5 \times 12$  เซนติเมตร แล้วนำมามัดติดกับสายให้แน่นโดยสายรัด หรือแถบรัดแบบ Stainless

6.11 หลุมหลักดินขุมสายที่ทำจากวิธีเจาะ เมื่อปักหลักดินขุมสายลงในบ่อให้ทำการอุดช่องว่าง(Seal) ระหว่างผนังหลุมหลักดินกับผิวหลักดิน ให้เต็มด้วย Bentonite ผสมกับโคลนดินเหนียว ในอัตราส่วน 1:4 โดยปริมาตร

6.12 บ่อหลักดินขุมสาย ให้ใช้บ่อสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด  $40 \times 50 \times 30$  เซนติเมตรความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สร้างเป็นกรอบปากบ่อเมื่อปิดฝาบ่อต้องได้ระดับเสมอกับระดับพื้น

6.13 ฝาปิดบ่อหลักดิน ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถปิด-เปิดได้สะดวก โดยใช้เป็นฝาคอนกรีตสำเร็จรูป หรือ ฝาเหล็กความหนาไม่น้อยกว่า  $\frac{1}{8}$  นิ้ว และต้องทาสีกันสนิมด้วย

6.14 หลักดินหุ้มสาย ที่ได้จากการเจาะเมื่อทำการ Seal เสร็จแล้ว และ หลักดินหุ้มสายที่ได้จากการตอกก็ตาม ก่อนที่จะทำการต่อเข้ากับระบบให้วัดค่าความต้านทานลงดิน ลงบันทึกค่าและรายงานให้กับเจ้าหน้าที่การกำลัง บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) เพื่อบันทึกประวัติการต่อลงดินหุ้มสาย พร้อมบันทึกค่าลงป้าย Stainless ของสายหลักดินหุ้มสาย

6.15 สำหรับ Optical Fiber Cable ห้ามต่อเชื่อมตัวนำไฟฟ้าในโครงสร้างเคเบิล และสาย Strand กับระบบต่อลงดินหุ้มสาย โดยใช้ Electrical Tape พันเพื่อป้องกันปลายตัวนำไฟฟ้าและสาย Strand ไปสัมผัสกับ Optical Joint Box และส่วนที่เป็น โลหะอื่นๆ ในหุ้มสาย

6.16 กรณีที่มีการติดตั้ง หุ้มสาย Mobile Container เพิ่มขึ้นอีกในบริเวณเดียวกัน หรือมีการเพิ่มจำนวนเลขหมายบริการภายหลัง ให้นำรวมจำนวนเลขหมายทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วปรับมาตรฐานการต่อลงดินให้เป็นไปตาม ข้อ 2 และ ทำการต่อบาร์ GWB (ตู้ Container) แต่ละตู้ Container ให้ถึงกันทางไฟฟ้าด้วยสายทองแดง THW หุ้มฉนวนสีเขียวที่มีพื้นที่หน้าตัดทองแดงไม่เล็กกว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ชนิดทนแรงดันไฟฟ้า 750 โวลต์

6.17 กรณีมีการติดตั้ง ตู้หุ้มสาย Container ประเภทอื่นนอกเหนือไปจากข้อมาตรฐานนี้ ให้พิจารณาจำนวนเลขหมายบริการ แล้วปรับปรุงระบบต่อลงดินตามหัวข้อ 1 ถึง 16

## 7. ชนิดกลุ่มงาน

7.1 กลุ่มงานเสี่ยง หมายถึง ชนิดกลุ่มงานที่มีความเสี่ยงจากการรับปัญหาเสิร์จ (Surge) ที่เข้ามาทางสายสายตอนนอก และ เสี่ยงต่อปัญหาฟ้าผ่าเสาอากาศ จึงจำเป็นต้องระบายกระแสเสิร์จลงดินให้ได้อย่างรวดเร็ว โดยแบ่งเป็นกลุ่มงานดังนี้

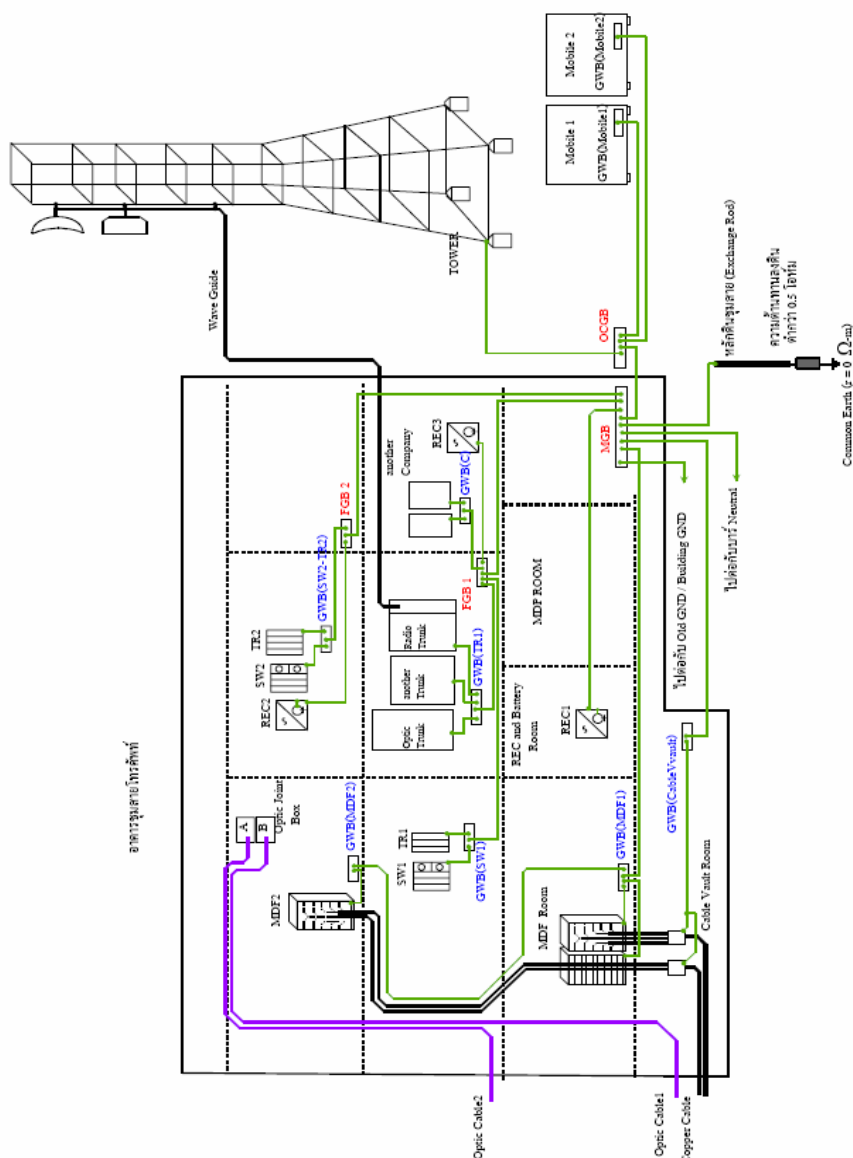
7.1.1 งานอุปกรณ์ Cable vault room

7.1.2 งานอุปกรณ์ MDF และ งาน Optical Joint Box

7.1.3 งานเสาอากาศ (Tower)

7.1.4 งานตู้หุ้มสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

7.2 กลุ่มงานที่มีความเปราะบาง หมายถึง กลุ่มงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และดิจิทัลที่มีความเปราะบางและรับผลกระทบจาก Noise และความต่างศักย์ระหว่างอุปกรณ์ ได้ง่าย เช่น เครื่องอุปกรณ์ DC Power Plant (Rectifier & Main Battery), ระบบเครื่องอุปกรณ์สวิตชิง, DTI Interface equipment, อุปกรณ์สื่อสารสัญญาณทั้งหมด (ยกเว้นเสาอากาศ) เป็นต้นอุปกรณ์เหล่านี้อาจมีหลายยี่ห้อ ติดตั้งในห้องชั้นเดียวกัน หรืออาจติดตั้งกันคนละห้องหรือต่างชั้นกัน



ภาพที่ 42 ตัวอย่าง การต่อระบบลงดินชุมสาย MSU

ที่มา: ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที (2548)

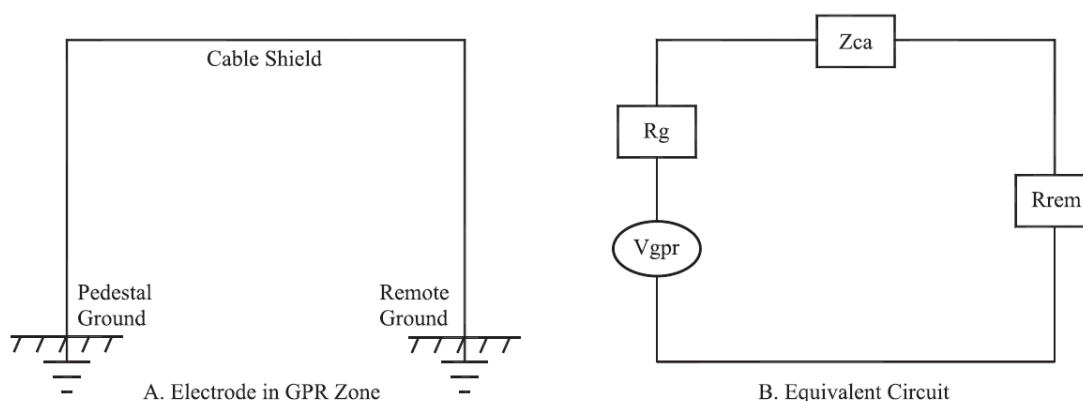


### การศึกษาการป้องกันแรงดันเกินจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

เคเบิลโทรศัพท์ที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

เคเบิลโทรศัพท์ซึ่งมีโล่กำบังโลหะและถูกต่อลงดินที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์จะนำกระแสในระหว่างช่วงเวลาที่เกิดฟอลต์ กระแสจะไหลไปตามโล่กำบังไปสู่จุดกราวด์ที่อยู่ไกลออกไป และจะก่อให้เกิดแรงดันบนโล่กำบัง จากปรากฏการณ์นี้เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทศักย์ไฟฟ้าจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ไปสู่โล่กำบังที่เป็นโลหะ

จากรูปเป็นตัวอย่างของโล่กำบังเคเบิลที่ถูกต่อลงกราวด์โดยปลายข้างหนึ่งถูกต่อลงกราวด์ที่อยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ และปลายอีกข้างหนึ่งอยู่ที่จุดกราวด์ที่อยู่ไกลออกไป (IEEE Std 487, 2000)



ภาพที่ 43 วงจรสมมูลย์การต่อลงดินของโล่กำบัง

ที่มา: IEEE487 (2000)

ค่ากระแสโดยประมาณ( $I$ )ที่ไหลบนโล่กำบังของเคเบิลโทรคมนาคมเนื่องจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่ตำแหน่งแทนกราวด์คือ

$$I \approx \frac{V_{gpr}}{R_g + Z_{ca} + R_{rem}} \quad \text{แอมแปร์} \quad (18)$$

โดยที่

$V_{gpr}$  คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่ฐานเสาที่มีการลงกราวด์ของโล่กำบัง (โวลท์)

$R_g$  คือ ค่าความต้านทานของแท่งกราวด์ที่มีการต่อลงดิน โดยค่านี้เทียบกับคอมมอนเอิร์ธ (โอห์ม)

$R_{rem}$  คือ ค่าความต้านทานของการต่อลงดินของแท่งกราวด์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ออกไป (โอห์ม)

$Z_{ca}$  คือ อิมพีแดนซ์ของโล่กำบังของเคเบิล (โอห์ม)

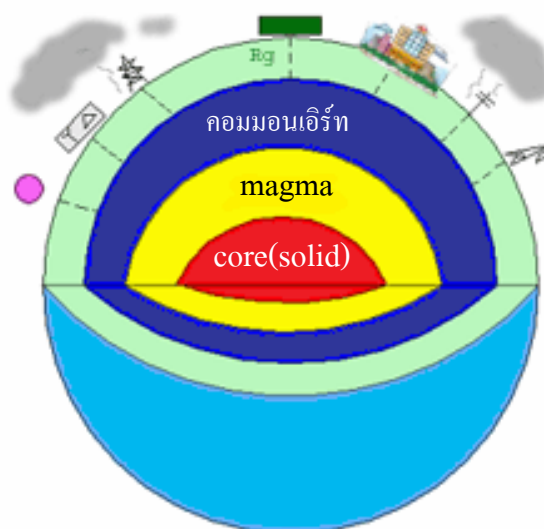
ในสถานการณ์ที่เป็นจริง องค์ประกอบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาของอิมพีแดนซ์ของโล่กำบังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของแท่งกราวด์ที่ถูกต่อลงดินที่ฐานเสาซึ่งค่าสัมบูรณ์ของอิมพีแดนซ์ของโล่กำบังสามารถถูกใช้ในการคำนวณกระแสที่ไหลในโล่กำบังของเคเบิล ค่าแรงดันของโล่กำบังโดยประมาณเทียบกับคอมมอนเอิร์ธ  $V_{ca}$  ที่แท่งกราวด์ที่ถูกต่อลงดินที่ฐานเสา คือ

$$V_{ca} \approx I(Z_{ca} + R_{rem}) \quad \text{โวลท์} \quad (19)$$

### สภาพของ คอมมอนเอิร์ธ

ระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระบบจ่ายสายโทรศัพท์และชุมสายโทรศัพท์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทุกชนิดล้วนแต่เป็นระบบ หรืออุปกรณ์ที่มีการต่อลงดินและทำงานโดยไฟฟ้าทั้งสิ้น สภาพฟ้าผ่า ซึ่งก็คือปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีการถ่ายเทประจุไฟฟ้า จำนวนมหาศาลลงสู่ดิน ที่กล่าวมานี้เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลกและส่งผลทางไฟฟ้ากระทำกับพื้นดินทั้งสิ้น (นิรนาม, ม.ป.ป.)

จากการศึกษาวิจัยของศูนย์วิจัยระบบป้องกัน องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย เพื่อค้นหาว่าเนื้อดินส่วนใด สามารถเป็นตัวอ้างอิงไฟฟ้าที่สามารถใช้เป็น ground plane ผลสรุปได้ว่าเนื้อดินบริเวณผิวโลกยังไม่ให้ความสามารถเป็น ground plane แต่ส่วนเนื้อดินที่ลึกลงไประดับหนึ่งจะมีปริมาตรของเนื้อดินที่มีสภาวะการรวมตัวต่อเชื่อมถึงกันอย่างต่อเนื่อง ด้วยปริมาตรมหาศาลทำให้เกิดเป็นสภาพดินที่ให้ค่าความนำกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงเป็นอนันต์ (ความต้านทานมีค่าเป็นศูนย์) ค่าความนำกระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุดของเนื้อดินส่วนนี้ให้ความสามารถในการเป็น ground plane ได้ เรียกเนื้อดินส่วนนี้ว่า "คอมมอนเอิร์ธ" (ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค บมจ.ทีโอที, ม.ป.ป.)



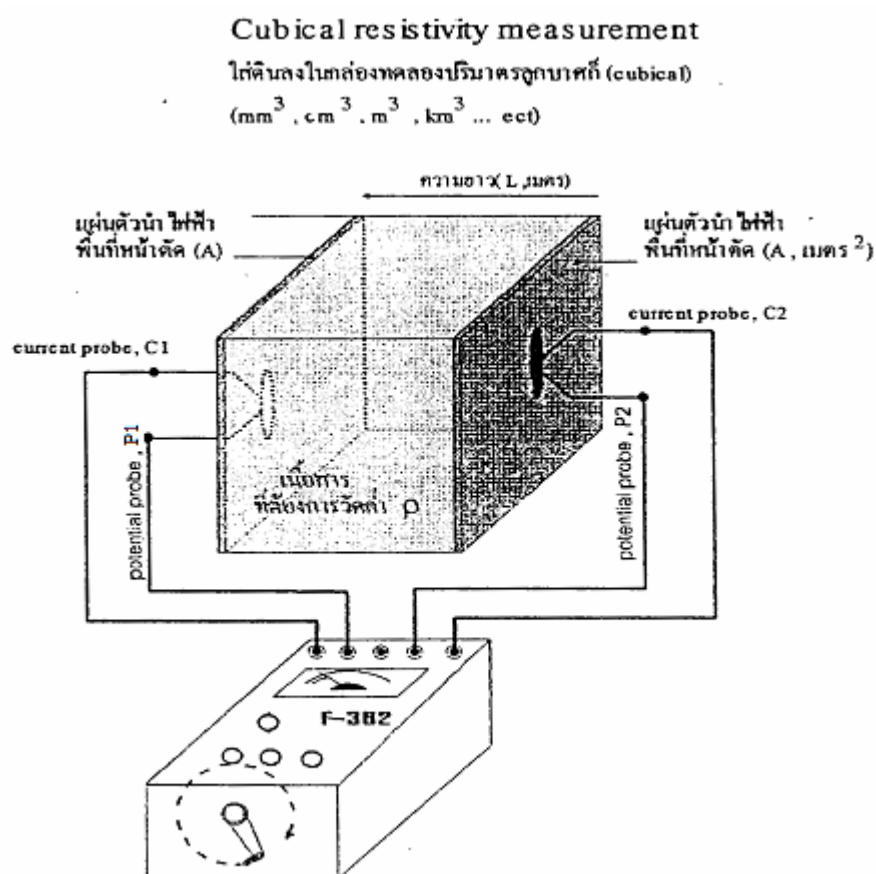
ภาพที่ 44 คอมมอนเอิร์ท ทำหน้าที่เป็นจุดต่อร่วมวงจรไฟฟ้า

ที่มา: นิรนาม (ม.ป.ป.)

เมื่อปักแท่งกราวด์ลงไปบนดินจะเกิดเป็นความต้านทานกราวด์ระหว่างแท่งกราวด์กับคอมมอนเอิร์ท ทั้งนี้ การลดความต้านทานกราวด์ทำได้โดยการปักแท่งกราวด์พุ่งเข้าสู่ดินบริเวณคอมมอนเอิร์ท หรือเข้าใกล้คอมมอนเอิร์ทให้มากที่สุด หากว่าแท่งกราวด์ไม่สามารถเข้าถึงเนื้อดินส่วนที่เป็นคอมมอนเอิร์ท ก็จะเกิดเป็นสภาพความต้านทานกราวด์(Rg) ปัจจุบันองค์การโทรศัพท์ใช้ระบบกราวด์ที่มีค่าความต้านทานกราวด์อ้างอิงกับคอมมอนเอิร์ท โดยมีข้อกำหนดว่า ความต้านทานกราวด์ต้องไม่เกิน 0.5 โอห์ม ที่ระดับความลึกไม่เกิน 100 เมตร ซึ่งช่วยลดความเสียหายลงได้ถึง 80%

## ความต้านทานจำเพาะของดิน

ความต้านทานจำเพาะของดิน หมายถึง ความต้านทานทางไฟฟ้าของดินรูปทรงเป็นลูกบาศก์ที่มีขนาด 1 หน่วย



ภาพที่ 45 การให้ความหมายของความต้านทานจำเพาะของดินด้วยการใช้ก้อนปริมาตรลูกบาศก์

ที่มา: สมพร (2542)

ค่าความต้านทานจำเพาะของดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ชนิดของดิน, ปริมาณธาตุต่างๆ ในดิน, อุณหภูมิ และ ฤดูกาล ค่าความต้านทานจำเพาะของดินและน้ำแสดงดังตารางที่ 5 (สำรวย, 2547)

ตารางที่ 5 ค่าความต้านทานจำเพาะของดินและน้ำชนิดต่างๆ

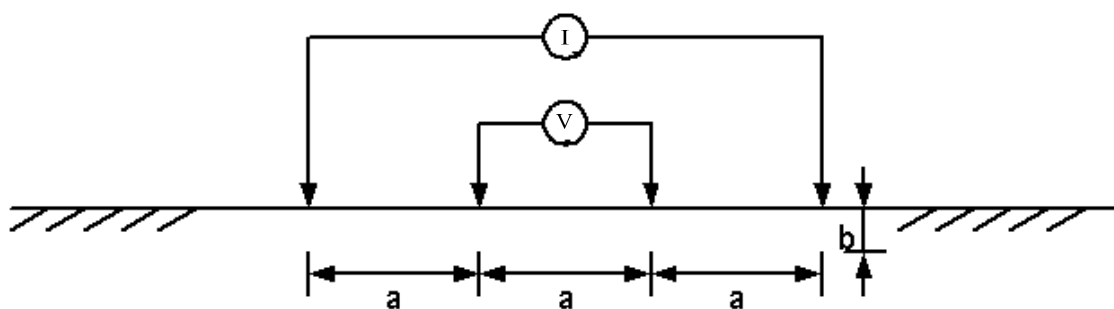
| ชนิดของดิน          | $\rho$ ( $\Omega$ - m) |
|---------------------|------------------------|
| ดินร่วนเปียก        | 10...30                |
| ดินเหนียว           | 50                     |
| ดินร่วนชื้น         | 100                    |
| ดินปนทราย           | 150                    |
| ทรายชื้น            | 200                    |
| ทรายแห้ง            | 1000                   |
| ดินกรวดชื้น(gravel) | 500                    |
| ดินกรวดแห้ง         | 1000                   |
| หิน(rock)           | 3000-10000             |
| ซีเมนต์บริสุทธิ์    | 50                     |
| ซีเมนต์ 1 ทราย 3    | 150                    |
| ซีเมนต์ 1 กรวด 5    | 400                    |
| น้ำทะเล             | 0.15                   |
| น้ำประปา            | 20                     |
| น้ำกลั่น            | 300                    |

ที่มา: สํารวย (2547)

การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินนั้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณลักษณะของดินว่ามีคุณสมบัติอย่างไรบ้าง เนื่องจากค่าความต้านทานจำเพาะของดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ชนิดของดิน, ปริมาณธาตุต่างๆในดิน, อุณหภูมิ และ ฤดูกาล ดังนั้นในการตรวจวัดก็เพื่อนำไปวิเคราะห์ห่ออกแบบระบบการต่อลงดินโดยเฉพาะการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้า ให้มีความถูกต้องเหมาะสมในดินแต่ละชนิด และนำค่าที่วัดได้ในแต่ละพื้นที่มาเปรียบเทียบได้อย่างถูกต้อง วิธีการวัดมีหลายวิธีแต่ที่นิยมจะเป็นวิธีการวัดแบบ 4 จุดของ Wenner ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} \frac{a}{\sqrt{(a^2 + b^2)}}} \quad (\text{โอห์ม-เมตร}) \quad (20)$$

ถ้า  $a > 20b$   $\rho = 2\pi aR$  (โอห์ม-เมตร) (21)



ภาพที่ 46 วงจรการวัดค่าความต้านทานจำเพาะโดยวิธีของ Frank Wenner

ที่มา: IEEE80 (2000)

ขั้นตอนในการตรวจวัดความต้านทานจำเพาะของดินมีดังนี้

1. ทำการปักหลักดินของเครื่องวัดโดยหลักดินทั้ง 4 จะต้องวางในแนวเส้นตรง (ดังภาพที่ 46) โดยความลึกและระยะห่างของหลักดินจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งในทางปฏิบัติกำหนดให้ระยะห่าง (a) มีค่า 2 - 30 เมตร และความลึก (b) มีค่าน้อยกว่าระยะห่างประมาณ 20 เท่าหรือ ความลึกมีค่า 1 ใน 3 ส่วนของระยะห่าง

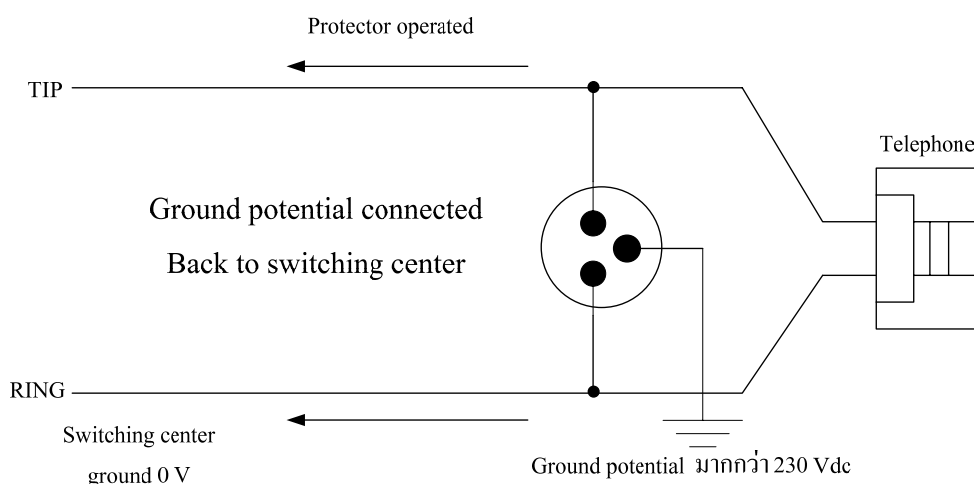
2. ทำการวัดค่าความต้านทานของดิน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นโอห์ม นำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (Soil Resistivity) จากสมการที่ 20 หรือ 21 (ตามแต่จะเงื่อนไข)

3. เมื่อทำการวัดค่าได้แล้วให้ทำการเลื่อนตำแหน่งของแท่งกราวด์ที่ปักโดยหมุนแกนในแนวเดิมออกไป 90 องศา แล้วทำการวัดค่าความต้านทานอีกครั้ง

4. ทำการเปรียบเทียบค่าทั้งสองว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ทั้งนี้ก็เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกเช่น Interference Voltage, EMI, RFI

## การป้องกันจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

ค่าสูงสุดของกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่สามารถยอมรับได้ที่มีสาเหตุมาจากฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังคือ 430V เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระดับแรงดันขนาด 33kV และ 650V เมื่อเกิดฟอลต์ที่ระดับแรงดันขนาดมากกว่า 33kV (ตามมาตรฐาน ITU) และ 300V (IEEE) ดังนั้นถ้าสายเคเบิลโทรศัพท์ที่มีการใช้จุดลงกราวด์ร่วมกับกราวด์ของระบบไฟฟ้ากำลังหรืออยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันก็จะทำให้ระดับแรงดันที่กราวด์คือเล็กโทรคของเคเบิลโทรศัพท์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับเดียวกับแรงดันที่กราวด์อิเล็กทรอนิกส์ของระบบไฟฟ้ากำลัง (Manse Williams & Ian Atkins Raychem Corporation, n.d.) และถ้าเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการถูกติดตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ก็อาจเป็นอันตรายต่อเครื่องโทรศัพท์หรือตัวของผู้ใช้บริการเองได้ ในกรณีเช่นนี้ก็อาจทำให้แรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรส์นี้ถูกถ่ายโอนไปยังคู่สายและตัวเครื่องโทรศัพท์โดยผ่านอุปกรณ์ป้องกันที่อยู่ปลายทางโดยทั่วไปในขณะนี้ เป็นหลอดคายประจุผ่านก๊าซ (Gas Discharge Tube) ซึ่งมีระดับแรงดันเบรกดาวน์ค่าหนึ่ง ดังนั้นจึงควรพิจารณาค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่เหมาะสมของหลอดคายประจุผ่านก๊าซให้สามารถทนต่อแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรส์นี้ แต่ก็ต้องคำนึงแรงดันเลิฟจ์ที่มีกับคู่สายสัญญาณจะต้องได้รับการป้องกันโดยการเบรกดาวน์ลงดินได้ด้วย



ภาพที่ 47 วงจรการป้องกันสำหรับผู้ให้บริการซึ่งปัจจุบันเป็นหลอดคายประจุผ่านก๊าซขณะที่ได้รับผลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

การป้องกันแรงดันสูงจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ ที่ติดตั้งอยู่ที่จุดผู้ให้บริการซึ่งอาจจะต้องมีความต้องการอุปกรณ์พิเศษที่จะทำหน้าที่ป้องกันกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่มีสาเหตุมาจากการเกิด

ฟอลต์จากระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ก็คือความแตกต่างระหว่างกราวด์อิเล็กทรอนิกส์หรือมากกว่าที่มีสาเหตุมาจากกระแสฟอลต์ที่ไหลกลับแหล่งกำเนิด แรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์สามารถไปปรากฏที่เคเบิลโทรศัพท์เมื่อมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงดินแต่ส่วนมากจะเกิดจากบางส่วนของกระแสฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลังลงดินซึ่งกระแสส่วนนี้ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้า (Manse Williams & Ian Atkins Raychem Corporation, n.d.)

อุปกรณ์ป้องกันนี้จะต้องทำหน้าที่แยกแรงดันสูงกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ โดยจะถูกติดตั้งไว้ที่main distribution frame และควรที่จะติดตั้งที่ตำแหน่งของผู้ให้บริการด้วย ซึ่งอยู่ระหว่างสภาพแวดล้อมที่สามารถเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์เนื่องจากฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

### หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ป้องกัน

หลักเกณฑ์ในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันเสร็จซึ่งรวมทั้งเสร็จทางสายจ่ายกำลังไฟฟ้าและเสร็จที่มาจากสายนำสัญญาณหรือสายโทรศัพท์ ซึ่งต้องพิจารณาใน 2 สถานะมีดังนี้

#### 1. ในสถานะปกติ

เครื่องป้องกันต้องไม่ทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนหรือขาดหายไปถ้าเป็นไฟฟ้าก็ต้องไม่ก่อให้เกิดสภาพไฟตก รูปคลื่นชาวน้ผิดเพี้ยนหรือเกิดฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการ ดังนั้น ควรมีความเข้าใจเป็นอย่างดีก่อนว่า สัญญาณที่อยู่บนวงจรที่ต้องการป้องกันมีลักษณะเป็นเช่นไร และต้องเข้าใจการทำงานและคุณสมบัติ ของอุปกรณ์ป้องกันว่าเป็นอย่างไรจะมีผลกระทบต่อกันหรือไม่

#### 2. ในสถานะที่มีเสร็จเกิดขึ้นแล้ว

2.1 อุปกรณ์ป้องกันทำงาน แรงดันผ่านที่ไปปรากฏที่ระบบงานหรืออุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันต้องไม่สูงเกินกว่าขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน และต้องตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันที่เลือกใช้งานด้วยว่า คุณสมบัติเรื่องแรงดันผ่านเป็นอย่างไร

2.2 เครื่องป้องกันทำงาน เครื่องป้องกันจะต้องมีความเร็วสูงพอที่จะตอบสนองต่อเสร็จทันการณีก่อนที่จะเกิด ความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบที่ต้องการป้องกัน



2.3 อุปกรณ์ป้องกันทำงาน อุปกรณ์ป้องกันจะต้องสามารถทนต่อระดับแรงที่เข้ามาได้ โดยไม่ถูกทำลายก่อน

### ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันสายสัญญาณโทรศัพท์

#### 1. ชนิดที่ต่อขนานกับวงจรป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกิน

ตัวป้องกันหรืออุปกรณ์ป้องกันที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันทุกชนิดทำงานด้วยการเบี่ยงถ่ายพลังงานของลัทธิจลน์ให้ผ่านเข้าไปสู่ระบบที่ทำการป้องกัน แบ่งออกได้ 2 ชนิด ตามลักษณะของมันคือ

1.1 ชนิดลัดวงจรไฟฟ้า (Crowbar Device) อุปกรณ์ชนิดนี้จะทำงานขณะที่มีแรงดันตกคร่อมตัวของมันเกินกว่าค่าแรงดันเบรกความถี่ประจำตัว ของมันเอง สภาพความต้านทานของตัวมันจะเปลี่ยนจากค่าความต้านทานสูงเป็นค่าความต้านทานต่ำมากจนอาจถือได้ว่าเป็นการลัดวงจรไฟฟ้าลงดิน อุปกรณ์ชนิดนี้ได้แก่ สปาร์กแกป (Spark Gap Arrester) หลอดคายประจุผ่านก๊าซ (Gas Discharge Tube) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้หลอดคายประจุผ่านก๊าซสำหรับเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ปลายทาง(ผู้ใช้บริการ) และที่ต้นทางสายนำสัญญาณโทรศัพท์(main distribution frame) สำหรับที่ต้นทางสายนำสัญญาณจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์จำกัดกระแสด้วย

คุณลักษณะของหลอดคายประจุผ่านก๊าซ(Gas Discharge Tube) หลอดคายประจุผ่านก๊าซประกอบด้วยอิเล็กโทรดที่เป็นโลหะถูกห่อหุ้มอยู่ในวัสดุฉนวนที่อาจจะเป็นแก้วหรือเซรามิกซึ่งบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อย หรือก๊าซหลายชนิดรวมกัน โดยทั่วไปอาจจะประกอบด้วย 2 หรือ 3 อิเล็กโทรด ปัจจุบันนิยมใช้ชนิด 3 อิเล็กโทรด โดยทั่วไปจะถูกต่ออยู่กับตัวนำ TIP RING และกราวด์ ดังภาพที่ 47 เพื่อแก้ปัญหาการเบรกความถี่ไม่พร้อมกันระหว่างคู่สาย TIP และ RING ก๊าซเฉื่อยซึ่งมีความดันต่ำที่บรรจุอยู่ในวัสดุฉนวนจะสัมผัสกับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทนี้คือ ข้อดีคือ สามารถรองรับพลังงานจากลัทธิได้มากใช้งานได้นานทนทาน ส่วนข้อเสียคือ เมื่อทำงานแล้วจะลัดวงจรไฟฟ้าไปชั่วขณะ (ประมาณครึ่งลูกคลื่น) ซึ่งในระหว่างนั้นกระแสตาม (Follow On Current)ซึ่งเกิดจากแรงดันไฟฟ้าปกติ ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรของตัวป้องกันจะทำความเสียหายให้เกิดแก่ตัวป้องกันได้ แต่ในการป้องกันสายนำสัญญาณสามารถลดผลกระทบของกระแสตามได้



ภาพที่ 48 หลอดคายประจุผ่านก๊าซ(Gas Discharge Tube)ที่ใช้ป้องกันสายนำสัญญาณโทรศัพท์

ดังนั้นในทางปฏิบัติสำหรับการป้องกันวงจรไฟฟ้ากำลังแล้วจึงไม่ควรใช้อุปกรณ์นี้ตามลำพัง แต่จะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถจำกัดกระแสตามดังกล่าวได้ นอกจากนี้ปัญหาเรื่อง กระแสตามแล้ว ยังมีปัญหาเรื่องความเร็วในการตอบสนอง (Response Time) ต่ำ และ ค่าแรงดันผ่านมีค่าสูง ( High Let Through Voltage) ก็ถือเป็นข้อด้อยส่วนหนึ่งของ อุปกรณ์ประเภทนี้

1.2 ชนิดควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Clamping Device) อุปกรณ์ชนิดนี้ทำงานขณะเมื่อมีแรงดันตกคร่อมตัวมันเกินกว่าค่าแรงดันแคลมป์ (Clamping Voltage) โดยตัวมันจะเปลี่ยนสภาพจากค่าความต้านสูงเป็นค่าความต้านทานต่ำแต่ไม่ถึงกับลัดวงจร อุปกรณ์ประเภทนี้ เช่น

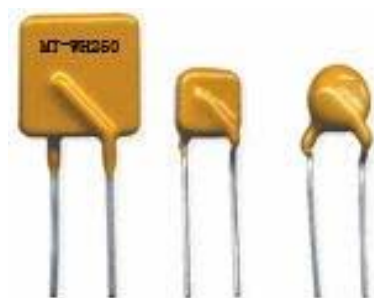
1.2.1 Metal Oxide Varistor (MOV) จะมีการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ได้รวดเร็ว ประมาณ  $25 \mu\text{s}$  เหมาะสำหรับการป้องกันลျี่จที่เกดในลักษณะอิมพัลส์ได้เป็นอย่างดีการต่อใช้งานจะต่อในลักษณะขนานกับโหลดหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า สภาวะปกติ MOV จะมีความต้านทานสูงมากแต่เมื่อมีแรงดันอิมพัลส์ขนาดสูงเข้ามา ความต้านทานของ MOV จะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วได้อย่างอัตโนมัติซึ่งเป็นการลดขนาดของแรงดันลျี่จก่อนที่จะเข้าโหลดต่อไป

1.2.2 Silicon Avalanche Diode (SAD)และอุปกรณ์ประเภท Solid State จะมีการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นในช่วงเวลาสั้นได้เร็วมาก และสามารถออกแบบให้ทำงานที่ซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อเสีย คือ ตัวมันทนต่อแรงดันสูงกระชาก(Peak Voltage) ได้ต่ำ และทนต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของกระแส (di/dt) ได้ต่ำ ไม่เหมาะที่ใช้เป็นตัวป้องกันด่านแรก

## 2 ชนิดที่ต่อต้านุกรมกับอุปกรณ์ป้องกันซึ่งทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน

Positive Temperature Coefficient (PTC) เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน จะทำงานเมื่อมีกระแสจำนวนสูงเกินกระแสเริ่มทำงาน อุปกรณ์ชนิดนี้มีข้อดีกว่าเมื่อเทียบกับฟิวส์ทั่วไปซึ่งไม่นิยมใช้สำหรับการป้องกันสายนำสัญญาณโทรศัพท์แล้ว เพราะความสามารถในการปรับสภาพตัวเองในการต่อวงจรกลับเข้าไปได้ใหม่ของ Positive Temperature Coefficient โดยอัตโนมัติเมื่อขนาดของกระแสที่สูงเกินลดลงจนถึงระดับปกติ การทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้คือในขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวมันมีจำนวนสูงเพียงพอจะทำให้เกิดความร้อน และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวมันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อค่าความต้านทานของตัวมันมีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้จำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวมันมีจำนวนลดลงอย่างสัมพันธ์กันจนถึงระดับหนึ่งซึ่งอุปกรณ์ป้องกันเปิดวงจร

ด้วยความสามารถในการตัดต่อวงจรโดยอัตโนมัตินี้ จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้แทนที่การใช้ฟิวส์ธรรมดาในการทำหน้าที่จำกัดกระแส



ภาพที่ 49 Positive Temperature Coefficient (PTC) ที่ใช้ป้องกันสายนำสัญญาณโทรศัพท์

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบ ข้อดี-ข้อเสีย และลักษณะการทำงาน ของอุปกรณ์ป้องกันชนิดต่างๆ

| ชนิดอุปกรณ์<br>ป้องกัน       | ลักษณะการ<br>ทำงาน        | ข้อดี                                                    | ข้อเสีย                                                                                                                                  | ข้อแนะนำการ<br>ใช้งาน                                                       |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| MOV                          | แคล้มแรงดัน               | ทนต่อแรงดันอิม                                           | -ไม่ทนต่อแรงดันเกิน                                                                                                                      | ใช้สำหรับ                                                                   |
|                              | เกินและอิม<br>พัลส์       | พัลส์ได้สูงมาก<br>ทั้งบวกและลบ                           | กระแสสลับ 50 Hz<br>- จะเสื่อมลงทุกครั้งที่<br>ตัวมันทำงาน                                                                                | ป้องกัน<br>แรงดันอิมพัลส์<br>เท่านั้น                                       |
| SOLID<br>STATE               | ขึ้นอยู่กับ<br>ลักษณะความ | ทำงานซ้ำๆกันได้<br>หลายครั้งตาม                          | ทนเล็กรแรงดันสูงได้<br>ไม่สูงมากประมาณ                                                                                                   | ขึ้นอยู่กับความ                                                             |
|                              | ต้องการ<br>ใช้งาน         | เงื่อนไขที่กำหนด                                         | 2 kV ถ้าเกินจะทำให้ตัว<br>มันพังเสียหาย                                                                                                  | ต้องการในการ<br>ใช้งานและการ<br>ออกแบบวงจร                                  |
| หลอดคาย<br>ประจุผ่าน<br>ก๊าซ | ลัดวงจรแรงดัน             | ทนเล็กรแรงดัน                                            | เมื่อตัวมันทำงานจะมี                                                                                                                     | เหมาะกับการ                                                                 |
|                              | เกิน                      | สูงและกระแส<br>เล็กรได้ดีมากทั้ง<br>ด้านบวกและด้าน<br>ลบ | กระแสไหลตาม<br>(follow current) สูง<br>มาก ไม่เหมาะที่จะ<br>นำมาใช้กับระบบ<br>ไฟฟ้ากำลัง โดยตรง<br>เพราะจะทำให้เกิดการ<br>ลัดวงจรของไลน์ | นำมาใช้ป้องกัน<br>เล็กรทางคู่<br>สายโทรศัพท์<br>และสายนำ<br>สัญญาณ<br>ต่างๆ |

ที่มา: ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค บมจ.ทีโอที (2550)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) สำหรับใช้ในการวิจัย
2. โปรแกรม MATLAB-Simulink
3. AC Surge Generator
4. เครื่องวัด Oscilloscope และ มัลติมิเตอร์
5. อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินสำหรับปลายทาง (Station Protector)
6. อุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกินสำหรับต้นทาง (MDF. Protector)

### วิธีการ

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานลักษณะการเกิดและขอบเขตอิทธิพลของกราวด์โพเทนเชียลไรส์
2. ศึกษารูปแบบการต่อลงดินของระบบโทรศัพท์ ที่มีผลก่อให้เกิดแรงดันเกินในระบบจากสถานที่จริงสำนักงานบริษัททีโอทีจำกัด(มหาชน) (สิงห์บุรี)
3. ทดสอบอุปกรณ์ป้องกันที่ทำหน้าที่ป้องกันเสร็จที่มาจากสายนำสัญญาณโทรศัพท์
4. คำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรส์ โดยใช้ขนาดกระแสฟอลต์แบบหนึ่งเฟสลงดินของสถานีไฟฟ้าจังหวัดสิงห์บุรี คำนวณค่ากระแสและแรงดันที่โวลแทจของเคเบิลโทรศัพท์
5. ศึกษาข้อมูลรูปแบบของอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อมีเหตุการณ์กราวด์โพเทนเชียลไรส์ในระบบข่ายสาย โทรศัพท์ แบบต่างๆ สำหรับการจัดการประสานสัมพันธ์การทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อให้ข่ายสายระบบโทรศัพท์มีความปลอดภัยทั้งแก่ผู้ใช้บริการและอุปกรณ์

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### ผลการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานลักษณะการเกิดและขอบเขตอิทธิพลของกราวด์โพเทนเชียลไรส์

จากการศึกษาลักษณะการเกิดและอิทธิพลของกราวด์โพเทนเชียลไรส์ ทำให้ทราบว่า

1. การเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ เกิดได้จากการที่เกิดฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่ดิน หรือเกิดจากการเกิดฟอลต์ลงดินในระบบไฟฟ้ากำลัง ไม่ว่าจะเป็นฟอลต์แบบหนึ่งเฟสลงดิน หรือ ฟอลต์แบบสองเฟสลงดิน ซึ่งกระแสฟอลต์จะไหลกลับสู่แหล่งกำเนิดในส่วนนั้น เมื่อพิจารณาถึงโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดฟอลต์ลงดินทั้งสองชนิดทำให้ทราบว่าฟอลต์แบบหนึ่งเฟสลงดินมีสถิติการเกิดเป็นจำนวนมากกว่าฟอลต์ชนิดสองเฟสลงดิน จึงพิจารณาค่ากระแสฟอลต์ชนิดหนึ่งเฟสลงดินในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์
2. เขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์ เกิดจากการแผ่กระจายของกระแสที่ไหลผ่านดินไปตามระยะทาง ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ดินซึ่งมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆจากต้นกำเนิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ที่กราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าที่พิจารณา
3. ศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่เกิดขึ้นที่สถานีไฟฟ้าสามารถถ่ายโอนไปยังระบบอื่นๆที่มีเส้นทางเชื่อมต่อถึงกันได้ เช่นถ้ามีการต่อลงดินของระบบโทรศัพท์ภายในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

#### ผลการศึกษารูปแบบการต่อลงดินของระบบโทรศัพท์ ที่มีผลก่อให้เกิดแรงดันเกินในระบบ

1. ศึกษารูปแบบการต่อลงดินของระบบโทรศัพท์

ระบบต่อลงดินชุมสายโทรศัพท์, อุปกรณ์สื่อสารสัญญาณและระบบข่ายสายตอนนอก

จากมาตรฐานระบบต่อลงดินหุ้มสายโทรศัพท์, อุปกรณ์สื่อสารสัญญาณและระบบข่ายสาย  
ตอนนอกพอสรุปถึงข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาถึงผลกระทบที่มาจากการเกิดกราวด์โพเทนเชียล  
ไรส์ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลค่าความต้านทานลงดินและลักษณะการต่อลงดินของหุ้มสายและข่ายสาย

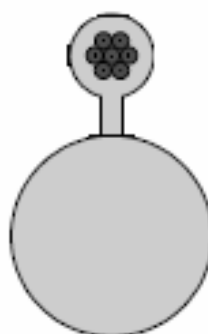
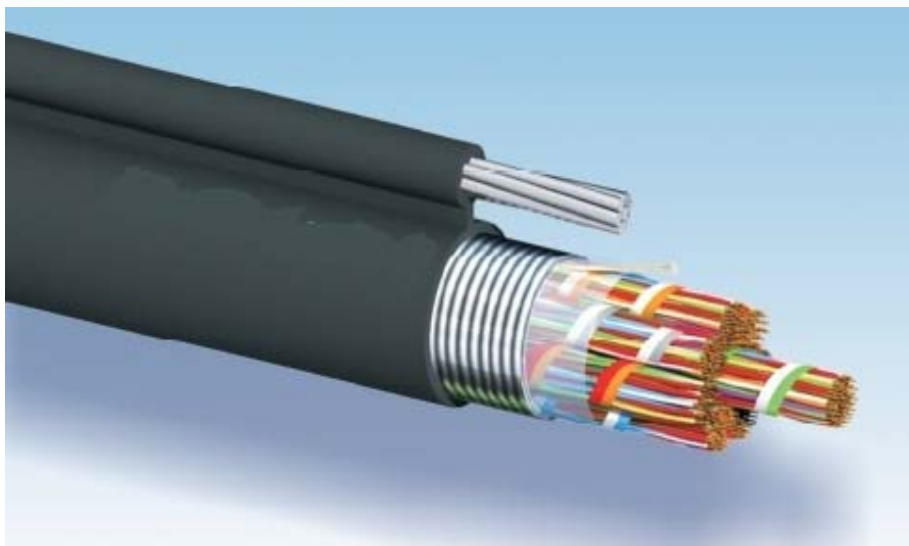
| ชนิดของการต่อลงดิน          | ลักษณะการลงดิน | ค่าความต้านทานลงดิน | ระยะห่างของการลง<br>ดิน(ข่ายสาย) |
|-----------------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|
| หุ้มสาย MSU                 | SINGLE ROD     | < 0.5 โอห์ม         | -                                |
| หุ้มสาย RLU/RSU             | SINGLE ROD     | < 0.5 โอห์ม         | -                                |
| หุ้มสาย Mobile<br>container | SINGLE ROD     | < 1 โอห์ม           | -                                |
| สายสะพาน(สายยึดโยง)         | SINGLE ROD     | < 20 โอห์ม          | ≈ 250 เมตร                       |
| โล่กำบังเคเบิล(shield)      | SINGLE ROD     | < 20 โอห์ม          | ≈ 500 – 600 เมตร                 |
| ตู้ผ่าน                     | SINGLE ROD     | < 20 โอห์ม          | -                                |

## 2. ชนิดของเคเบิลโทรศัพท์

เคเบิลโทรศัพท์(ภายนอกอาคาร)ที่นิยมใช้ภายในประเทศ ปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

### 2.1 FIGURE 8 ALPETH SHEATHED CABLE (AP(8))

เคเบิลชนิดนี้ใช้สำหรับแขวนอากาศเท่านั้น เนื่องจากสายยึดโยงในตัว เมื่อมองจากมุมตัดจะมองเห็นคล้ายเลข 8 มีโครงสร้างดังรูป

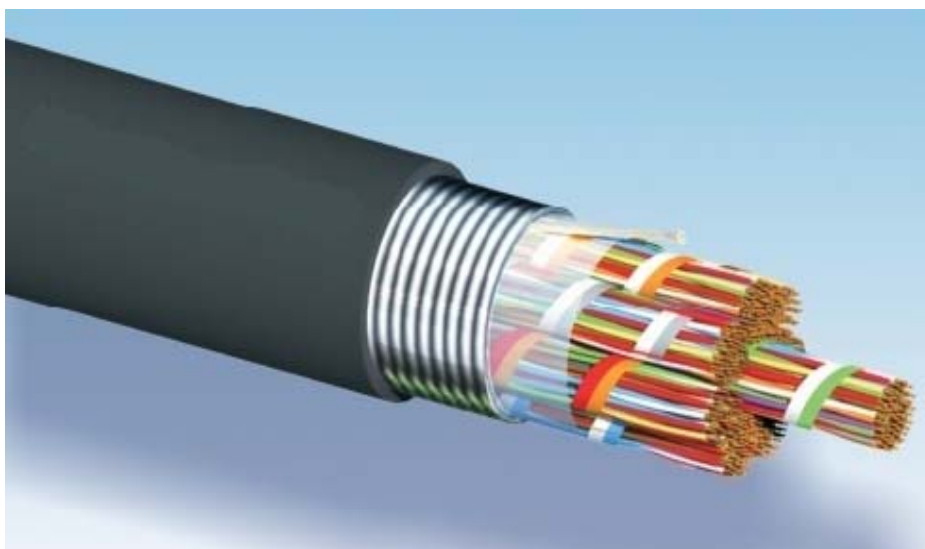


ภาพที่ 50 FIGURE 8 ALPETH SHEATHED CABLE [AP(8)]



## 2.2 POLYETHYLENE INSULATION ALPETH SHEATHED CABLE (AP)

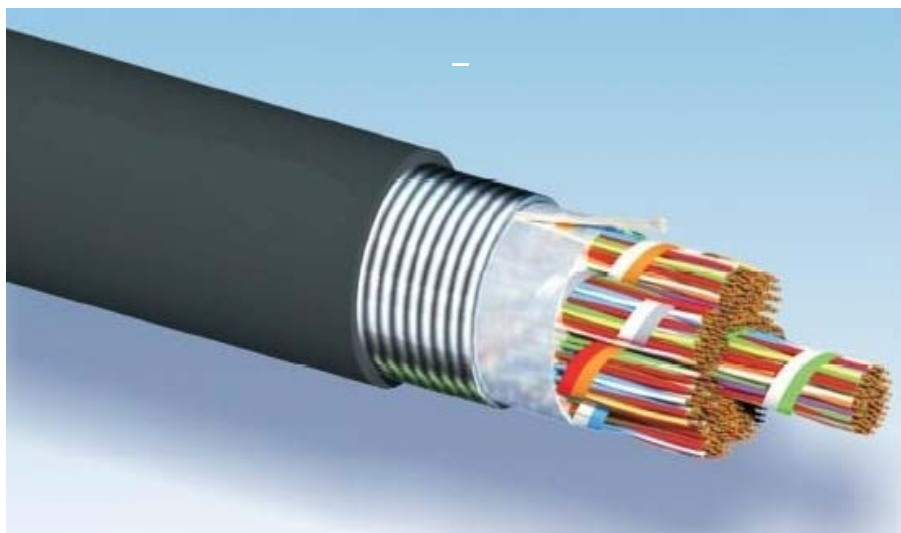
เคเบิลชนิดนี้สามารถใช้สำหรับแขวนอากาศหรือร้อยท่อฝังดินก็ได้ มีรูปร่างและโครงสร้างดังรูป



ภาพที่ 51 POLYETHYLENE INSULATION ALPETH SHEATHED CABLE (AP)

### 2.3 FOAM/SKIN INSULATION ALPETH SHEATHED FILLED CABLE (AP-FSF)

เคเบิลชนิดนี้สามารถใช้สำหรับร้อยท่อฝังดินเท่านั้น ซึ่งจะมีราคาที่สูงกว่า 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว มีรูปร่างและโครงสร้างดังรูป



ภาพที่ 52 FOAM/SKIN INSULATION ALPETH SHEATHED FILLED CABLE (AP-FSF)

### 3. ค่าความทนได้อ่อนแรงดันสูงของเคเบิลโทรศัพท์

บ. TOT จก(มหาชน) ได้มีการทดสอบเคเบิลที่ทำการจัดซื้อด้วยพิกัดแรงดันสูงดังตารางที่ 8 และตารางที่ 9 (ส่วนวิศวกรรมขายสายตอนนอก บมจ.ทีโอที, 2544)

**ตารางที่ 8** แสดงค่าแรงดันทดสอบค่าความทนได้อ่อนแรงดันสูงของเคเบิลโทรศัพท์ระหว่างคู่สายแต่ละคู่

| ชนิดของเคเบิล | ขนาดตัวนำ<br>(sq.mm) | ระดับแรงดันทดสอบ<br>(Vdc) | ระยะเวลาการทดสอบ<br>(s) |
|---------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| AP(8)         | 0.4                  | 2,400                     | 3                       |
|               | 0.5                  | 3,000                     | 3                       |
|               | 0.65                 | 3,600                     | 3                       |
|               | 0.9                  | 4,500                     | 3                       |
| AP            | 0.4                  | 2,400                     | 3                       |
|               | 0.5                  | 3,000                     | 3                       |
|               | 0.65                 | 3,600                     | 3                       |
|               | 0.9                  | 4,500                     | 3                       |
| AP(FSF)       | 0.4                  | 2,000                     | 3                       |
|               | 0.5                  | 2,000                     | 3                       |
|               | 0.65                 | 3,500                     | 3                       |
|               | 0.9                  | 3,500                     | 3                       |

ตารางที่ 9 แสดงค่าแรงดันทดสอบค่าความทนได้อ่อนแรงดันสูงของเคเบิลโทรศัพท์ระหว่าง  
คู่สายที่อยู่แกนกลางของเคเบิลกับโล่กำบัง

| ชนิดของเคเบิล | ขนาดตัวนำ<br>(sq.mm) | ระดับแรงดันทดสอบ<br>(Vdc) | ระยะเวลาการทดสอบ<br>(s) |
|---------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| AP(8)         | 0.4                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.5                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.65                 | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.9                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
| AP            | 0.4                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.5                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.65                 | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.9                  | $\geq 10,000$             | 3                       |
| AP(FSF)       | 0.4                  | $\geq 5,000$              | 3                       |
|               | 0.5                  | $\geq 5,000$              | 3                       |
|               | 0.65                 | $\geq 10,000$             | 3                       |
|               | 0.9                  | $\geq 10,000$             | 3                       |

## การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันสายนำสัญญาณโทรศัพท์

### 1. วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการทราบค่าระดับแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน โดยเฉพาะอุปกรณ์ป้องกันทางด้านปลายทางซึ่งอยู่ที่ผู้ใช้บริการ และผู้ใช้บริการอยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

### 2. อุปกรณ์

#### 2.1 AC Surge Generator

#### 2.2 เครื่องวัด oscilloscope

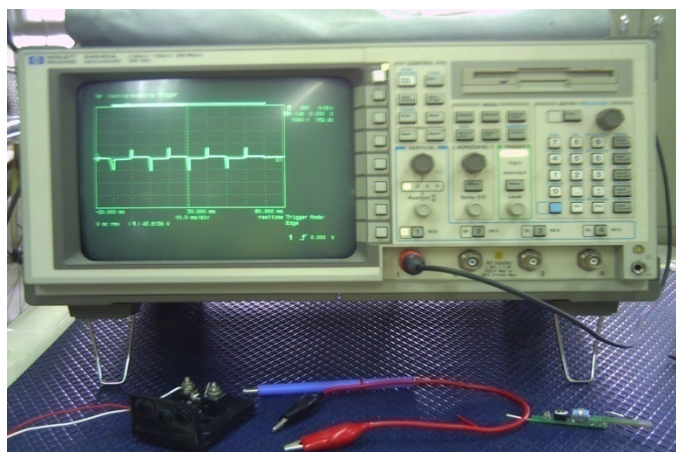
#### 2.3 เครื่องวัด multimeter

#### 2.4 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินสำหรับปลายทาง (Station Protector หรือที่เรียกว่า “กันฟ้า”)

#### 2.5 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกินสำหรับต้นทาง (MDF. Protector)



ภาพที่ 53 เครื่อง AC SURGE GENERATOR ที่ใช้ในการทดสอบ

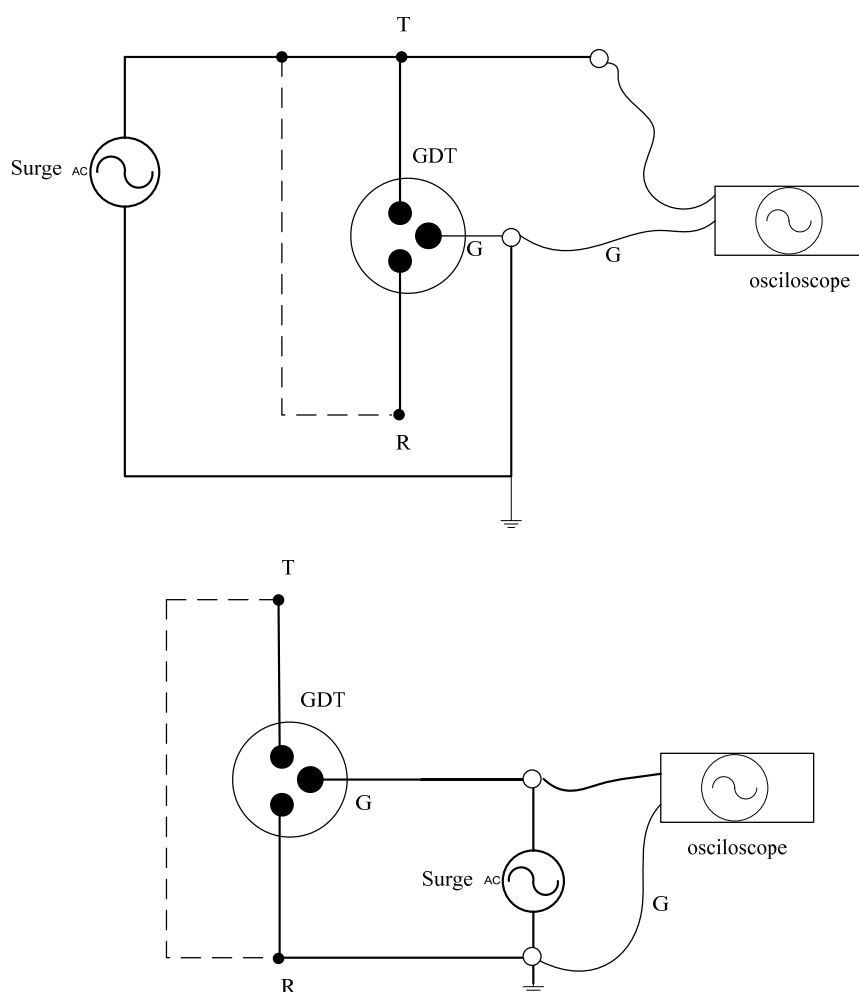


ภาพที่ 54 เครื่องวัด Oscilloscope ที่ใช้ในการทดสอบ

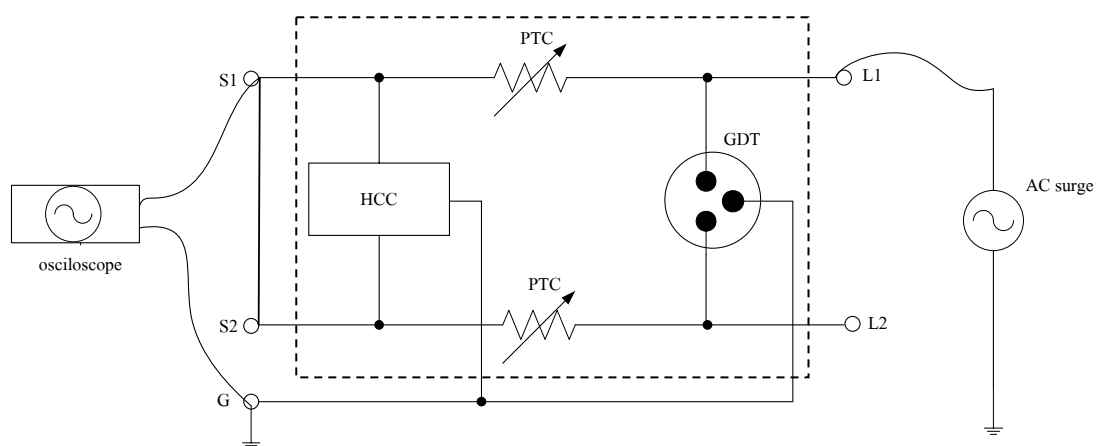


ภาพที่ 55 อุปกรณ์ป้องกันที่ทำการทดสอบ

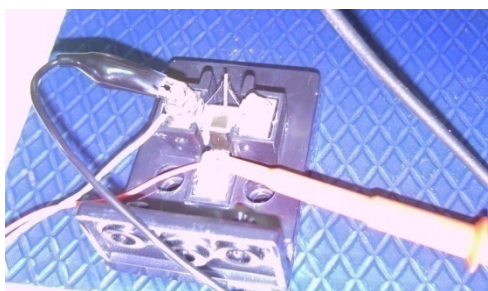
### 3. วงจรการทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน



ภาพที่ 56 วงจรที่ใช้ทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งปลายทาง (หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)



ภาพที่ 57 วงจรที่ใช้ทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกินที่ติดตั้งด้านทาง(MDF Protector)



ภาพที่ 58 ภาพแสดงการทดสอบหาแรงดันเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)





**ภาพที่ 59** ภาพแสดงการทดสอบหาขนาดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)ขณะที่อุปกรณ์ทำงาน



**ภาพที่ 60** ภาพแสดงการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกินที่ติดตั้งต้นทาง (MDF Protector)

#### 4. วิธีการทดสอบ

มีวิธีการทดสอบ 2 วิธี คือ

4.1 ทำการเพิ่มค่าแรงดันทดสอบขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงค่าที่หลอดคายประจุผ่านก๊าซเริ่มทำงาน โดยสามารถสังเกตได้ที่การทำงานของหลอดคายประจุผ่านก๊าซจะไม่ทำงานทุกลูกคลื่น

4.2 จ่ายแรงดันทดสอบตามระดับแรงดันกระแสลับที่ใช้งาน แล้วดูค่าสูงสุดที่ตัวอุปกรณ์ป้องกันเริ่มทำงาน

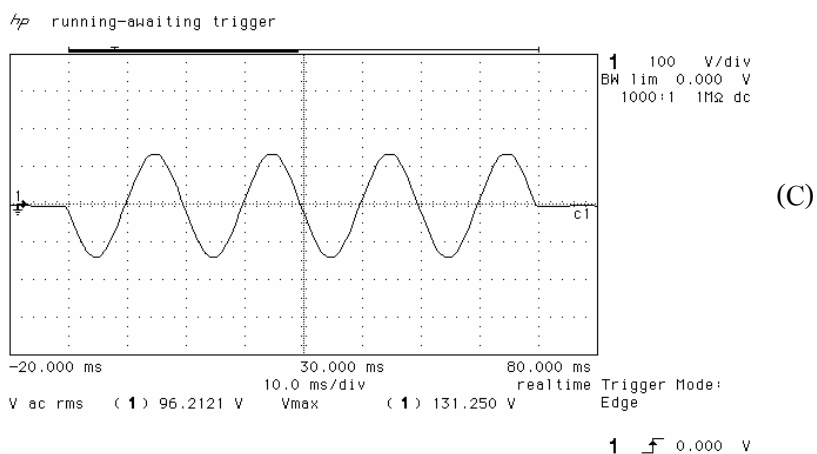
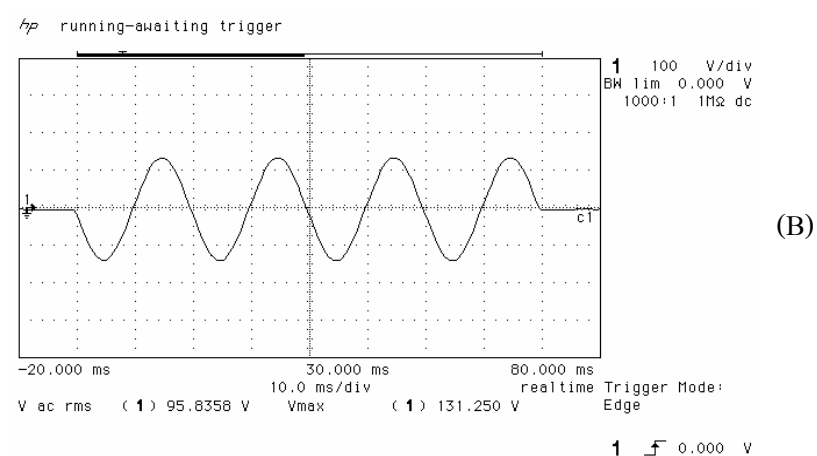
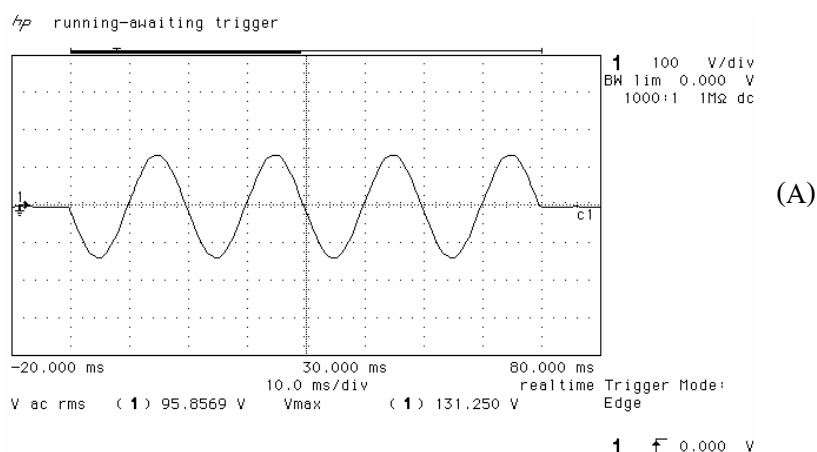
การทดสอบโดยวิธี 4.1

- ต่อวงจรดังภาพที่ 56 ทำการวัดรูปคลื่นด้วยเครื่องวัดscope
- จ่ายแรงดันเล็งกระแสลับขนาดต่ำสุดที่ 131.250 V<sub>p</sub> ดูผล
- เพิ่มขนาดแรงดันทดสอบเป็น 134.375 คูณผล
- เพิ่มขนาดแรงดันทดสอบเป็น 140 และ 150 ตามลำดับ

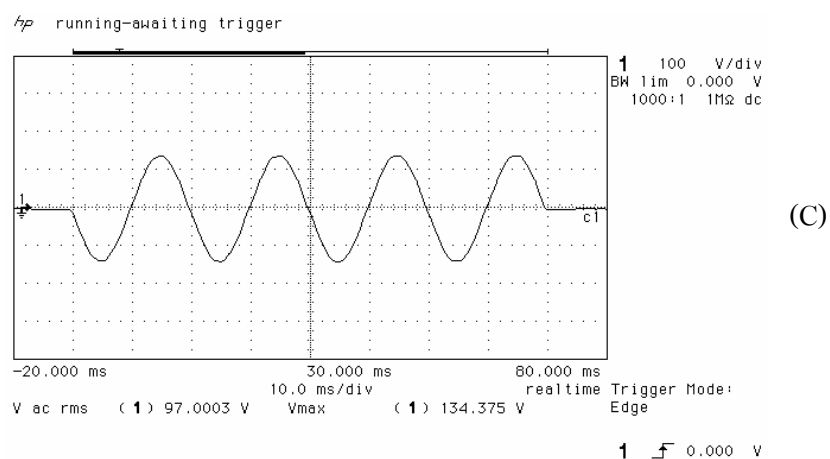
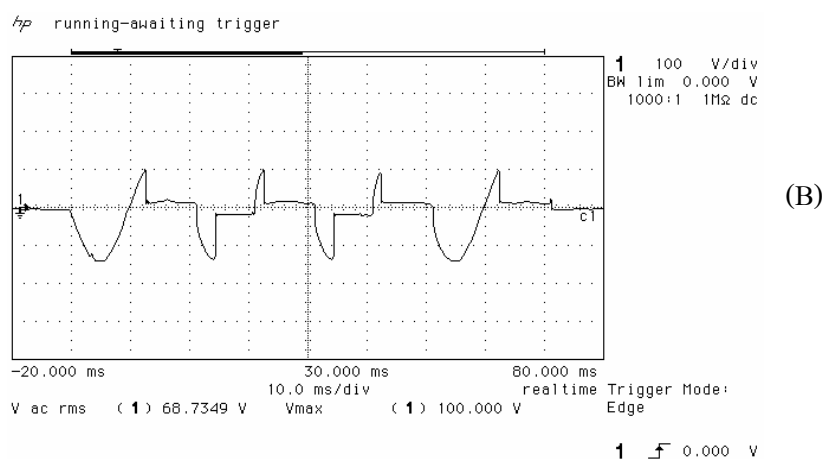
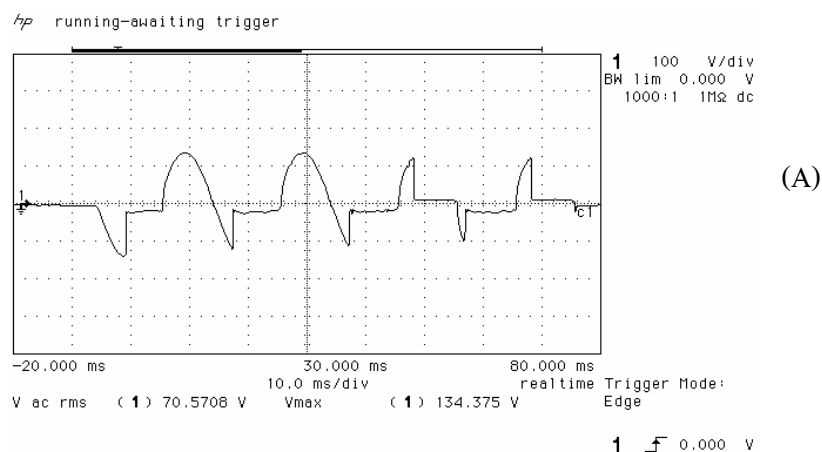
#### 5. ผลการทดสอบ

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งปลายทาง

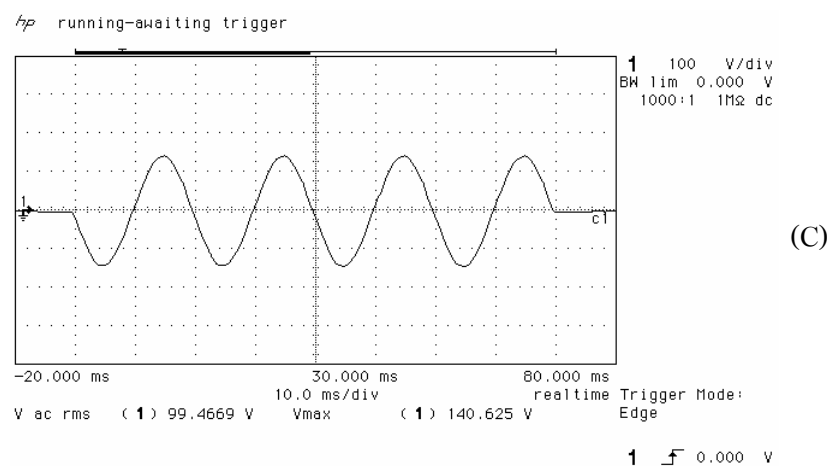
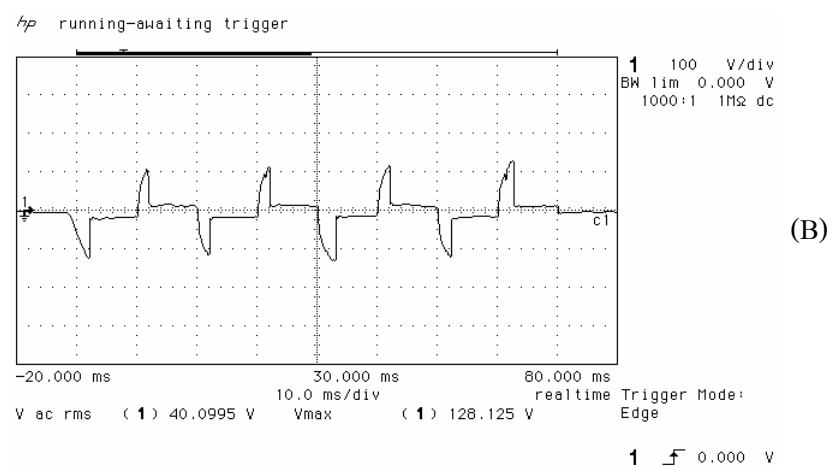
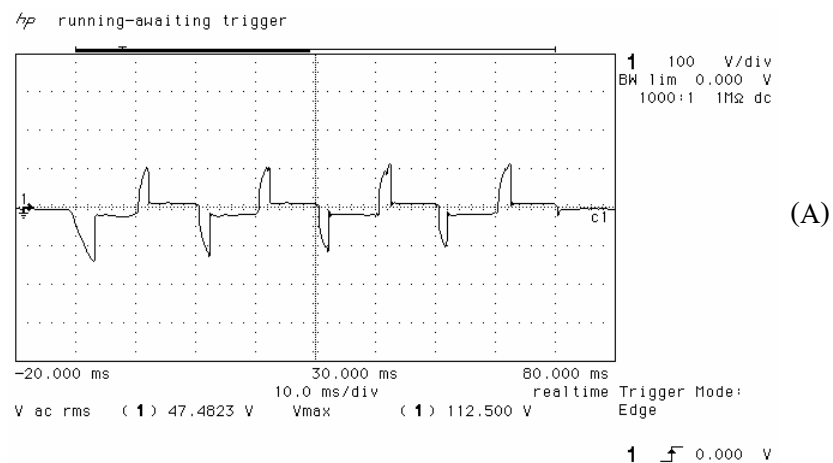
| ขนาด<br>แรงดันเล็ง | สถานการณ์เมื่อจ่ายแรงดันเล็งเข้าที่ขั้วของอุปกรณ์ป้องกันที่รับแรงดันเล็ง |                        |          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|
|                    | TIP RING-GROUND                                                          | GROUND-TIP RING        | TIP-RING |
| 131.250            | ไม่ทำงาน                                                                 | ไม่ทำงาน               | ไม่ทำงาน |
| 134.375            | ทำงานไม่ครบทุกลูกคลื่น                                                   | ทำงานไม่ครบทุกลูกคลื่น | ไม่ทำงาน |
| 140                | ทำงาน                                                                    | ทำงาน                  | ไม่ทำงาน |
| 150                | ทำงาน                                                                    | ทำงาน                  | ไม่ทำงาน |



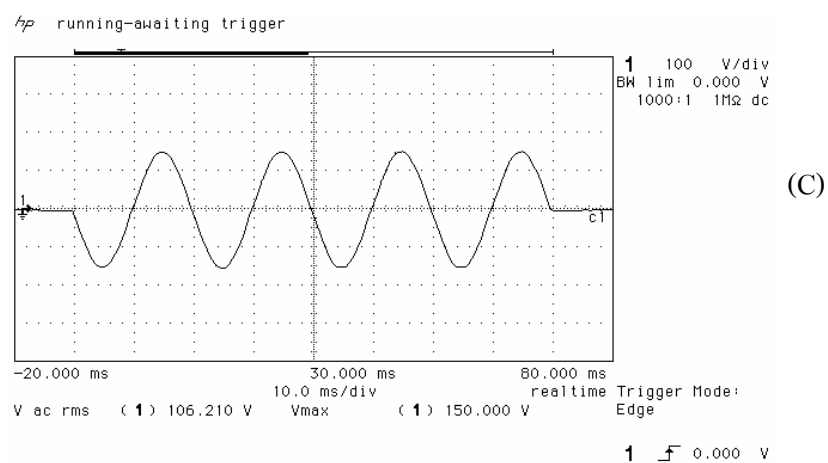
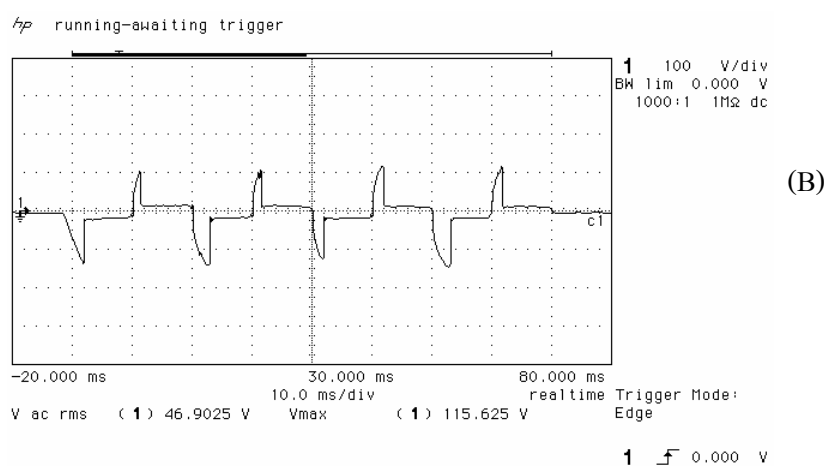
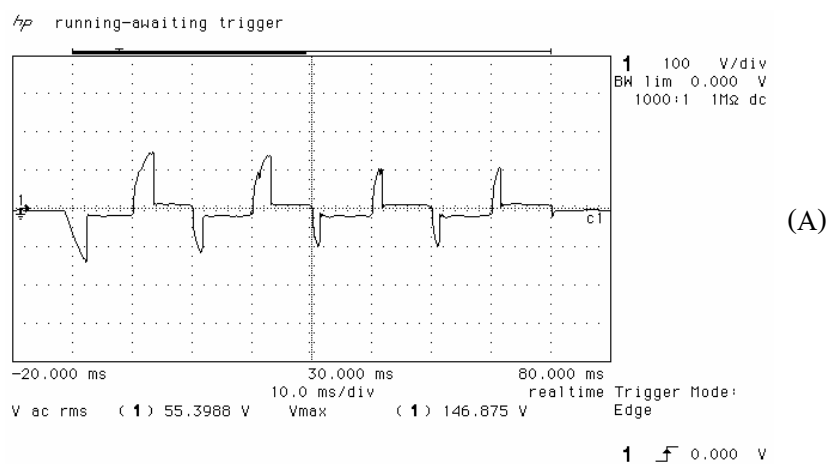
ภาพที่ 61 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิ่วงกระแสสลับขนาด 131.250 V<sub>p</sub> เมื่อจ่ายแรงดันเลิ่วงกระแสสลับเข้าที่ขั้ว (A)Tip Ring-Ground (B)Ground-Tip Ring (C)Tip-Ring



ภาพที่ 62 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิรจกระแสดับขนาด 134.375 V<sub>p</sub> เมื่อจ่ายแรงดันเลิรจ  
กระแสดับเข้าที่ขั้ว (A)Tip Ring-Ground (B)Ground-Tip Ring (C)Tip-Ring



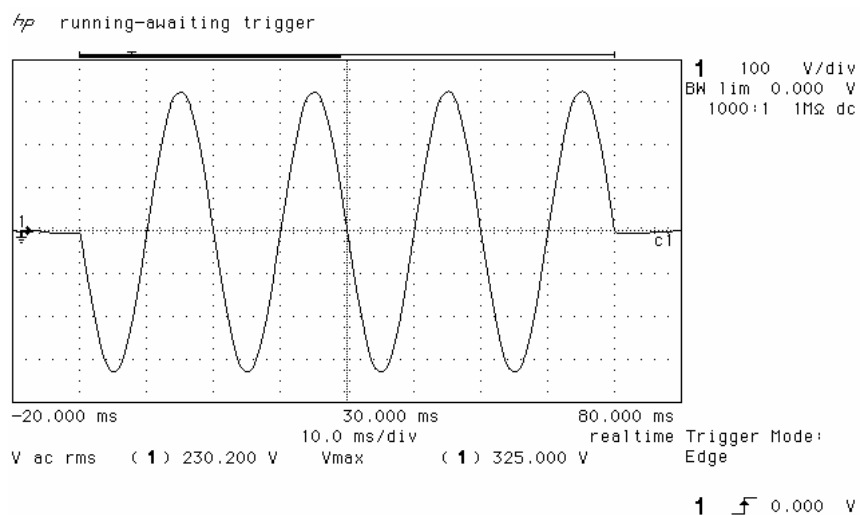
ภาพที่ 63 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเลิรจกระแสสลับขนาด 140 V<sub>p</sub> เมื่อจ่ายแรงดันเลิรจกระแสสลับเข้าที่ขั้ว (A)Tip Ring-Ground (B)Ground-Tip Ring (C)Tip-Ring



ภาพที่ 64 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเล็กระแสสลับขนาด 150 V<sub>p</sub> เมื่อจ่ายแรงดันเล็กระแสสลับเข้าที่ขั้ว (A)Tip Ring-Ground (B)Ground-Tip Ring (C)Tip-Ring

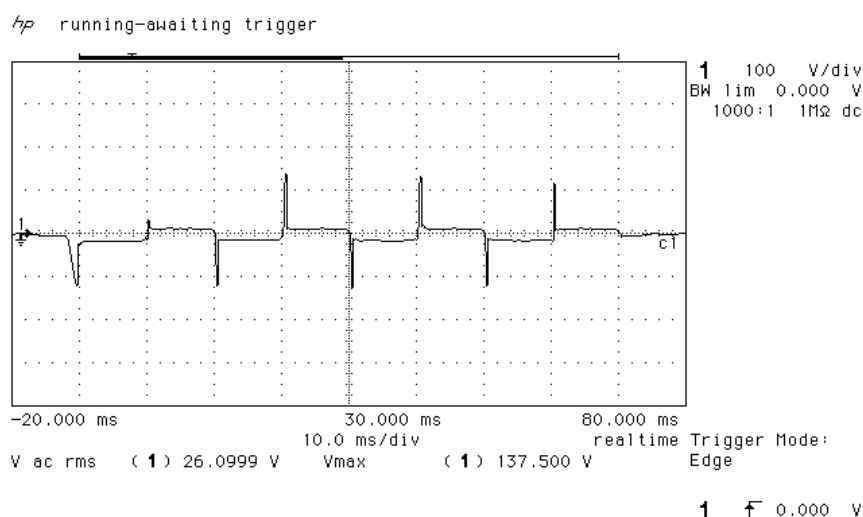
### การทดสอบโดยวิธี 4.2

- ใช้วงจรการทดสอบเหมือนกับการทดสอบโดยวิธีที่ 1
- จ่ายแรงดันทดสอบที่ระดับแรงดันตามพิกัดแรงดันกระแสสลับใช้งาน คือ  $230\text{ V}_{\text{RMS}}$

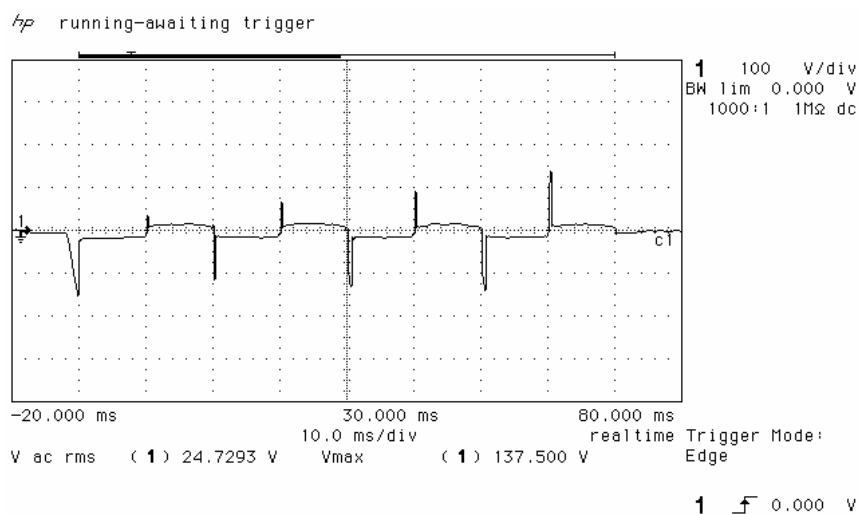


ภาพที่ 65 รูปคลื่นแรงดันทดสอบแรงดันเล็กรกระแสสลับขนาด  $230\text{ V}_{\text{RMS}}$

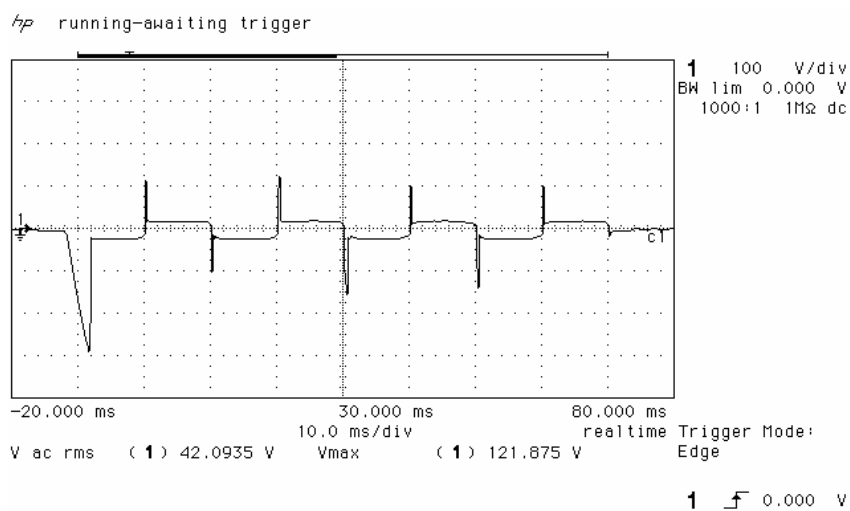
ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 66 ถึง 69



ภาพที่ 66 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเล็กรกระแสสลับขนาด  $230\text{ V}_{\text{RMS}}$  โดยที่จ่ายแรงดันเล็กรกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Tip Ring – Ground

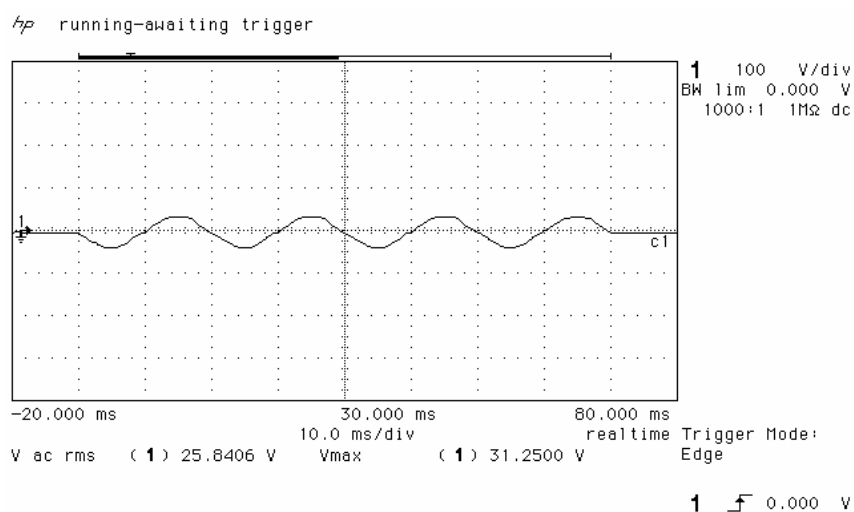


ภาพที่ 67 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเล็จกระแสสลับขนาด  $230\text{ V}_{\text{RMS}}$  โดยที่จ่ายแรงดันเล็จ  
กระแสสลับเข้าที่ขั้ว Ground - Tip Ring



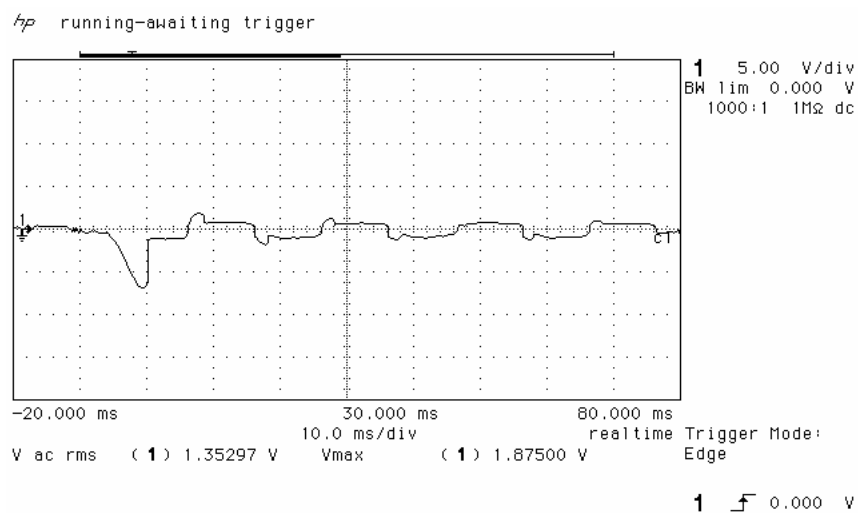
ภาพที่ 68 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเล็จกระแสสลับขนาด  $230\text{ V}_{\text{RMS}}$  โดยที่จ่ายแรงดันเล็จ  
กระแสสลับเข้าที่ขั้ว Tip - Ring





ภาพที่ 69 รูปคลื่นกระแสเสิร์จไหลผ่านหลอดคายประจุผ่านก๊าซขณะหลอดคายประจุผ่านก๊าซทำงาน โดยวัดคร่อมตัวต้านทานขนาด 1 โอห์ม

การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งด้านทาง (MDF Protector) จะทดสอบตามวิธีที่ 2 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ผลรูปคลื่นแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับขนาด 230 V<sub>RMS</sub> โดยที่จ่ายแรงดันเสิร์จกระแสสลับเข้าที่ขั้ว Tip Ring – Ground

## การคำนวณค่ากราวโพเทนเชียลไรซ์และกระแสไหลวนและแรงดันที่โวลท์ก้างของเคเบิลโทรศัพท์

### 1. คำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่สถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี

ในทางปฏิบัติข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์คือ

#### 1.1 ค่ากระแสลัดวงจรชนิด เฟสลงดิน

#### 1.2 ค่ากราวด์กริดของสถานีไฟฟ้า,ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน,ข้อมูลการออกแบบกราวด์กริด

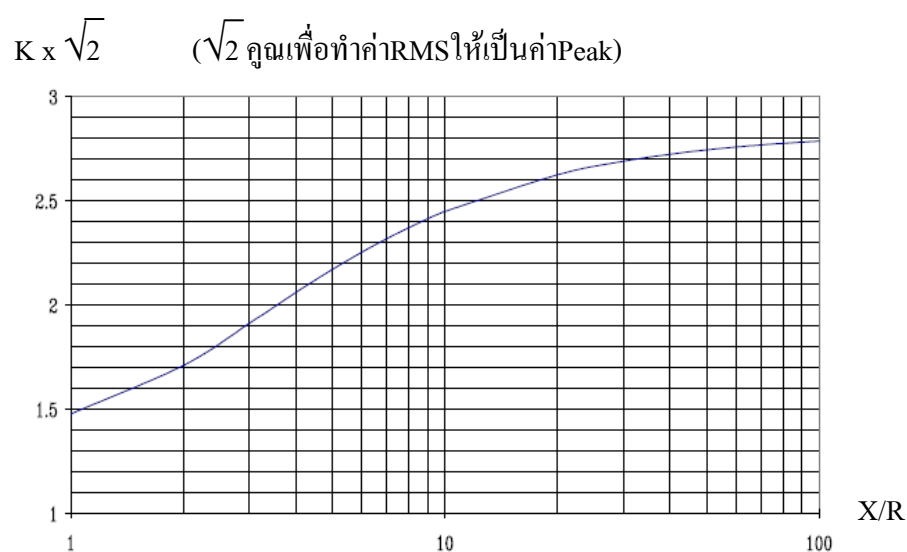
#### 1.3 ค่าแฟคเตอร์แบ่งกระแส

ในการพิจารณากระแสลัดวงจรที่ทำให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์จะพิจารณาเฉพาะกระแสลัดวงจรชนิดหนึ่งเฟสลงดิน ค่าระดับกระแสลัดวงจรของสถานีไฟฟ้างดตารางที่ 11 เป็นค่ากระแสลัดวงจรแบบสมมาตร แต่กระแสลัดวงจรที่รูปคลื่นลูกแรก จะเป็นกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรซึ่งจะรวมค่าองค์ประกอบกระแสตรงเข้าไปด้วย

การหาค่าสูงสุดของรูปคลื่นลูกแรกจำเป็นต้องคูณด้วย Asymmetrical factor (K)

$$K = 1 + e^{-\pi R/X} \quad (22)$$

หรือสามารถดูได้จากตารางใน ANSI Std. ตามความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์



ภาพที่ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนของอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ต่อรีซิสแตนซ์

ที่มา: สภาวิศวกร (2547)

ค่ากระแสลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยดังที่ได้แสดงต่อไปนี้เป็นค่ากระแสลัดวงจรที่บัสภายในสถานีไฟฟ้า

ตารางที่ 11 แสดงค่าระดับกระแสลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี (กฟผ.)

| BUS kV  | หม้อแปลง<br>MVA | 3 P Fault<br>kA | SLG Fault<br>kA | R1( pu.) | X1( pu.) | R0( pu.) | X0( pu.) |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| 115     |                 | 10.673          | 7.663           | 0.01270  | 0.04529  | 0.02983  | 0.09796  |
| 22-KT2A | 50              | 9.082           | 7.584           | 0.01270  | 0.28869  | 0.00000  | 0.46033  |
| 22-KT3A | 50              | 9.082           | 7.584           | 0.01270  | 0.28869  | 0.00000  | 0.46033  |

ที่มา: รายงานค่ากระแสลัดวงจรของ กฟผ. ปี 2550 (2007)

เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่เข้ามาที่สถานีสิงห์บุรีมีขนาด 115 kV แล้วถูกแปลงลงเหลือ 22 kV ดังนั้นจึงต้องพิจารณาระดับกระแสลัดวงจรลงจนถึงทั้งระบบ 22 kV และระบบ 115 kV แล้วเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรที่เป็นกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตร

### พิจารณาการเกิดฟอลต์ที่บัส 115 kV

จากข้อมูลระดับกระแสลัดวงจร(115 kV)ของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี

$$\begin{aligned}
 \text{กระแสลัดวงจรลงดิน(RMS)} &= 7,663 \text{ แอมแปร์} \\
 \text{อินคักเตนซ์ที่จุดลัดวงจรลงดิน} &= 0.18854 \text{ โอห์ม} \\
 \text{รีซิสเตนซ์ที่จุดลัดวงจรลงดิน} &= 0.05523 \text{ โอห์ม} \\
 \text{X/R ratio} &= 0.18854 / 0.05523 \\
 &= 3.414 \\
 K &= 1 + e^{-\pi(0.05523/0.18854)} \\
 &= 1.3984 \\
 K \times \sqrt{2} &= 1.9776 \\
 \text{ดังนั้น ค่ากระแสลัดวงจร Asymmetrical} &= 7,663 \times 1.9776 \\
 &= 15,154 \text{ แอมแปร์}
 \end{aligned}$$

### พิจารณาการเกิดฟอลต์ที่บัส 22 kV

เนื่องจากกระแสฟอลต์ที่ระดับ 22 kV ซึ่งเป็นฟอลต์ที่บัสโดยกระแสฟอลต์จะไม่ไหลลงดินและไม่ทำให้เกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์ แต่สามารถพิจารณาได้ว่าจะเป็นกระแสฟอลต์ที่สูงที่สุดที่จะสามารถเกิดได้ในกรณีที่เกิดฟอลต์ลงดินที่สายระบบจำหน่าย 22 kV แล้วกระแสฟอลต์ทั้งหมดไหลกลับหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าโดยเส้นทางดิน

จากข้อมูลระดับกระแสลัดวงจร(22 kV)ของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี

$$\begin{aligned}
 \text{กระแสลัดวงจรลงดิน(RMS)} &= 7,584 \text{ แอมแปร์} \\
 \text{อินคักเตนซ์ที่จุดลัดวงจรลงดิน} &= 1.0377 \text{ โอห์ม} \\
 \text{รีซิสเตนซ์ที่จุดลัดวงจรลงดิน} &= 0.0254 \text{ โอห์ม} \\
 \text{X/R ratio} &= 1.0377 / 0.0254 \\
 &= 40.854 \\
 K &= 1 + e^{-\pi(0.0254/1.0377)} \\
 &= 1.926 \\
 K \times \sqrt{2} &= 2.724 \\
 \text{ดังนั้น ค่ากระแสลัดวงจร Asymmetrical} &= 7,584 \times 2.724 \\
 &= 20,659 \text{ แอมแปร์}
 \end{aligned}$$

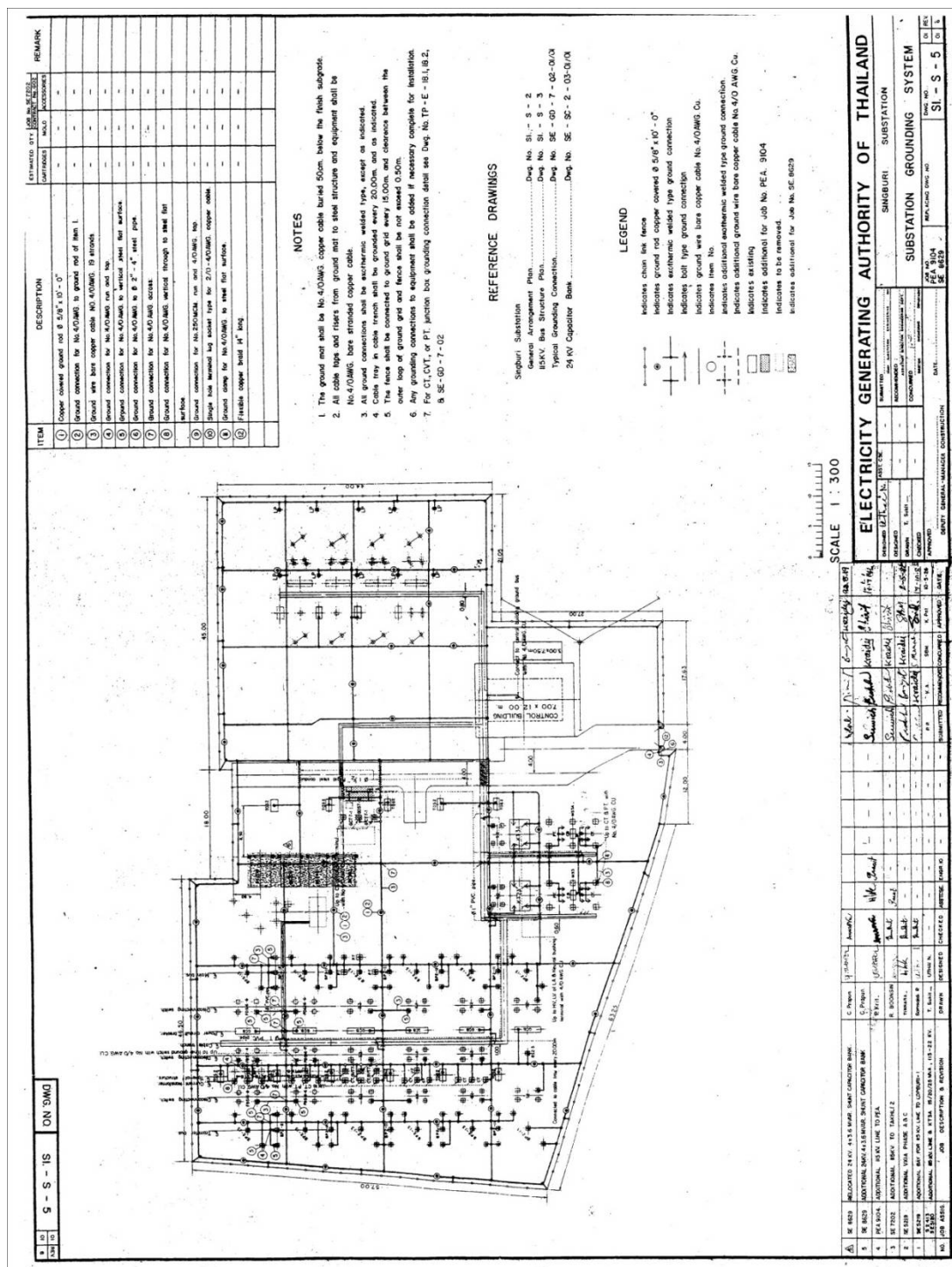
ค่ากระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรของระบบ 22 kV มีค่าสูงกว่าค่ากระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรของระบบ 115 kV ดังนั้นเลือกใช้กระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรของระบบ 22 kV ในการคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์

ค่ากราวด์กริดของสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรีซึ่งเป็นการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลการออกแบบกราวด์กริดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจังหวัดสิงห์บุรี ตามแบบกราวด์กริดดังภาพที่ 72

กราวด์กริดมีขนาดพื้นที่ เท่ากับ 6622.33 ตารางเมตร

$$\text{ดังนั้น รัศมีของกราวด์กริดเทียบเท่าพื้นที่วงกลม} = \sqrt{\frac{6622.33}{\pi}} = 45.91 \quad \text{เมตร}$$

ความยาวตัวนำทั้งหมดที่ใช้ทำกราวด์กริด เท่ากับ 1394.206 เมตร



ภาพที่ 72 แบบก่อสร้างกราวด์กริดสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี

ที่มา: รายงานการออกแบบกราวด์กริดสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

คำนวณหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ โดยใช้สมการที่ 16

จากสมการที่ 16 
$$GPR = \frac{\rho I_g}{4r} + \frac{\rho Ig}{L} \quad \text{โวลท์}$$

สมการที่ 16 เป็นการหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ สำหรับกริดที่ฝังลึกไม่เกิน 0.25 เมตร

สำหรับกราวด์กริดที่ฝังลึกที่ระยะความลึกใดๆ ควรใช้

$$GPR = \rho Ig \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad \text{โวลท์} \quad (23)$$

ค่าความต้านทานจำเพาะของดินในพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี(สถานีไฟฟ้า พรหมบุรี)มีค่าอยู่ที่ 23  $\Omega$  - m แต่การออกแบบกราวด์กริดที่สถานีไฟฟ้าพรหมบุรีใช้ค่าความต้านทานจำเพาะของดินเท่ากับ 30  $\Omega$  - m ดังนั้นใช้ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน เท่ากับ 30  $\Omega$  - m

หมายเหตุ สถานีไฟฟ้าพรหมบุรีอยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรีประมาณ 8 กิโลเมตร

ค่าแฟกเตอร์แบ่งกระแสควรคิดในกรณีที่เกิดฟอลต์แล้วเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่รุนแรงที่สุด ดังนั้น แฟกเตอร์แบ่งกระแสกำหนดให้มีค่า เท่ากับ 1 (อ้างอิงจากการออกแบบสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ดังนั้น กระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านกราวด์กริด สูงสุดไม่เกิน 20,659 แอมแปร์

เพราะฉะนั้นค่าแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์จากการคำนวณโดยสมการที่ 16

$$GPR = \frac{30 \times 20,659}{4r} + \frac{30 \times 20,659}{L} \quad \text{โวลท์}$$

$$GPR = 619,770 \left[ \frac{1}{4 \times 45.91} + \frac{1}{1394.206} \right] = 3819.45 \quad \text{โวลท์}$$

ค่าแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์จากการคำนวณโดยสมการที่ 23

$$GPR = 30 \times 20,659 \left[ \frac{1}{1394.206} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 6622.33}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.5 \sqrt{20/6622.33}} \right) \right] \text{ โวลต์}$$

$$= 3805 \text{ โวลต์}$$

จากการเปรียบเทียบการหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์โดยใช้สมการที่ 16 และ สมการที่ 23 พบว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 16 ได้ค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์สูงกว่า 14 โวลต์ หรือไม่ถึง 0.5 % ซึ่งถือว่าต่างกันน้อยมาก ดังนั้น เพื่อให้ได้ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ต้องพิจารณาเผื่อรั้วมากที่สุด จึงเลือกค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่นำมาคำนวณหาขอบเขตอิทธิพลของกราวด์โพเทนเชียลไรซ์เท่ากับ 3819.45 โวลต์

คำนวณหาขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

จากสมการที่ 17

$$\frac{V(x)}{GPR} = \frac{0.64}{1 + 4r/L} \sin^{-1} \left( \frac{r}{x} \right) \text{ (rad)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} V(x) &= \text{ศักย์ไฟฟ้าที่ดินตำแหน่งที่พิจารณา} && \text{(โวลต์)} \\ GPR &= \text{ศักย์ไฟฟ้าที่ดินสูงสุดที่สถานีไฟฟ้า} && \text{(โวลต์)} \\ r &= \text{รัศมีเทียบเท่าพื้นที่วงกลมของกราวด์กริด} && \text{( เมตร)} \\ L &= \text{ความยาวของตัวนำที่ใช้ทำกราวด์กริดทั้งหมด} && \text{( เมตร)} \end{aligned}$$

$1 + 4r/L$  เป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของกริด(จำนวนmeshที่อยู่ภายในกริด)

ดังนั้น

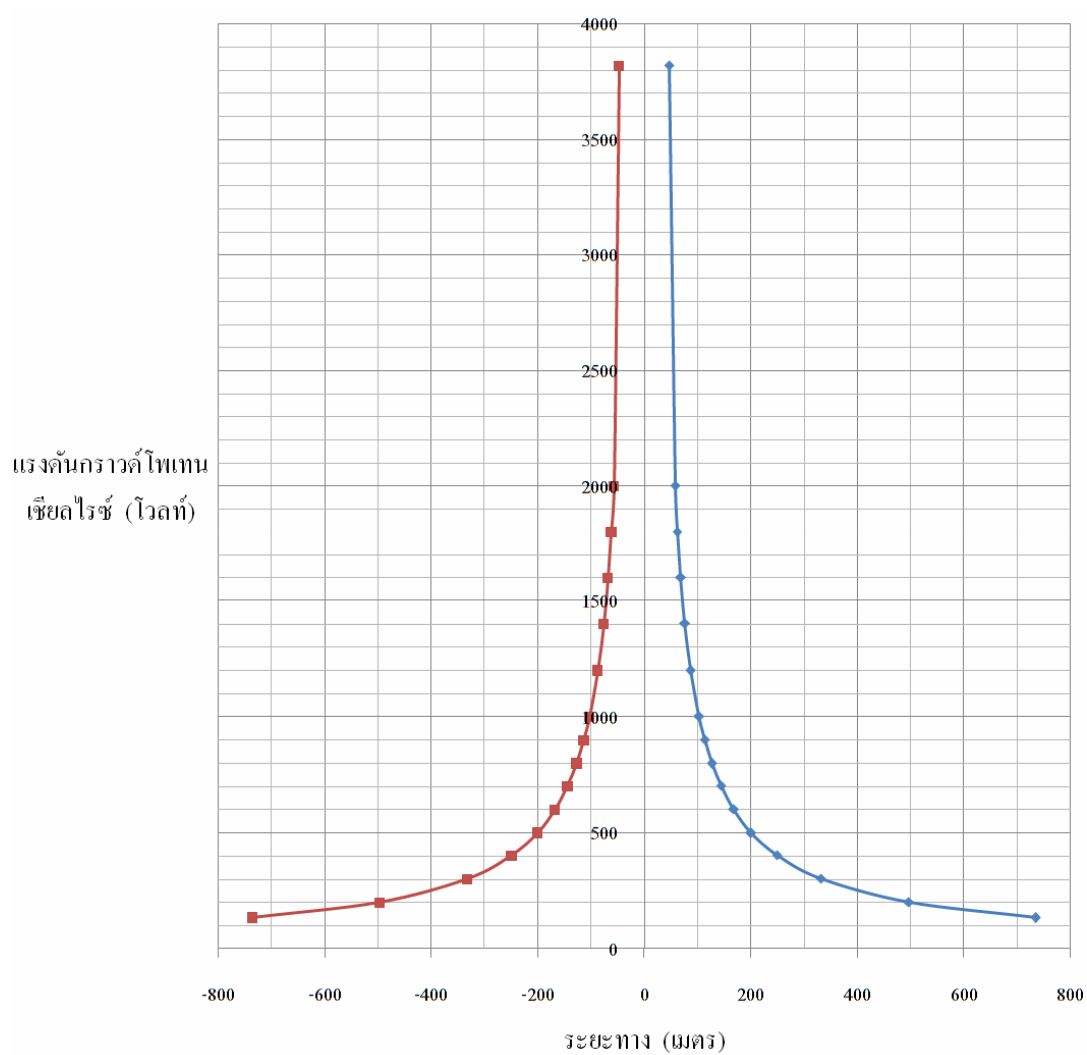
$$X = r / \left[ \sin \frac{V(x) \times (1 + 4r/L)}{GPR \times 0.64} \right] \text{ เมตร}$$



โดยกำหนดระดับค่า  $V(x)$  ต่างๆ และกำหนดขอบนอกสุดของเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไร้ชัด้วยค่าศักย์ไฟฟ้าที่ดินเท่ากับ 135 โวลท์ เนื่องมาจากการพิจารณาค่าแรงดันเบรกดาวน์ของหลอดคายประจุผ่านก๊าซต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบ ผลจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 12 และกราฟภาพที่ 73

**ตารางที่ 12** แสดงระยะจากสถานีไฟฟ้าส่งหับรีที่ปรากฏศักย์ไฟฟ้าที่ดินจากการเกิดกราวด์โพเทนเชียลไร้ชัที่สถานีไฟฟ้าส่งหับรี

| แรงดันGPRตำแหน่งที่พิจารณา<br>(โวลท์) | แรงดันGPRสูงสุดที่สถานีไฟฟ้า<br>(โวลท์) | ระยะทางจากสถานีไฟฟ้า<br>(เมตร) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 3819.45                               | 3819.45                                 | 46.82027639                    |
| 2000                                  | 3819.45                                 | 57.44557193                    |
| 1800                                  | 3819.45                                 | 62.02456941                    |
| 1600                                  | 3819.45                                 | 68.03012411                    |
| 1400                                  | 3819.45                                 | 76.04471194                    |
| 1200                                  | 3819.45                                 | 87.04523441                    |
| 1000                                  | 3819.45                                 | 102.7963361                    |
| 900                                   | 3819.45                                 | 113.4353637                    |
| 800                                   | 3819.45                                 | 126.8340128                    |
| 700                                   | 3819.45                                 | 144.1721738                    |
| 600                                   | 3819.45                                 | 167.4167676                    |
| 500                                   | 3819.45                                 | 200.1087518                    |
| 400                                   | 3819.45                                 | 249.3306414                    |
| 300                                   | 3819.45                                 | 331.6090758                    |
| 200                                   | 3819.45                                 | 496.5250968                    |
| 135                                   | 3819.45                                 | 735.020507                     |



ภาพที่ 73 กราฟแสดงระดับแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ที่ระยะทางต่างๆจากสถานีไฟฟ้าส่งหับบุรี

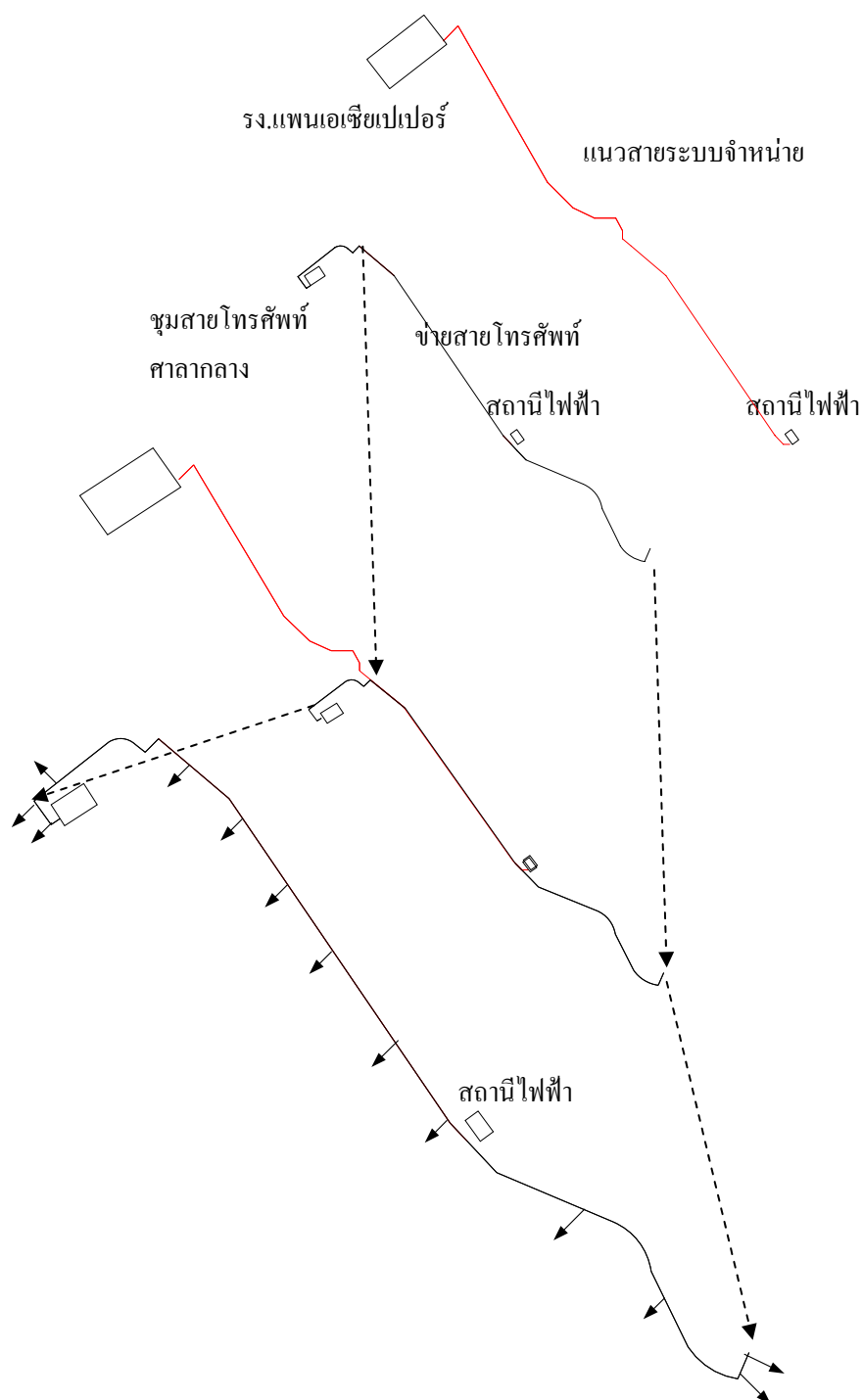
## 2. การวาดข่ายสายโทรศัพท์และเส้นทางระบบจำหน่าย

ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมโดยการใช้โปรแกรม google earth plus (free version) ทำการบันทึกเป็นไฟล์jpeg



ภาพที่ 74 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยโปรแกรม google earth(free version) แสดงพื้นที่  
ที่พิจารณา

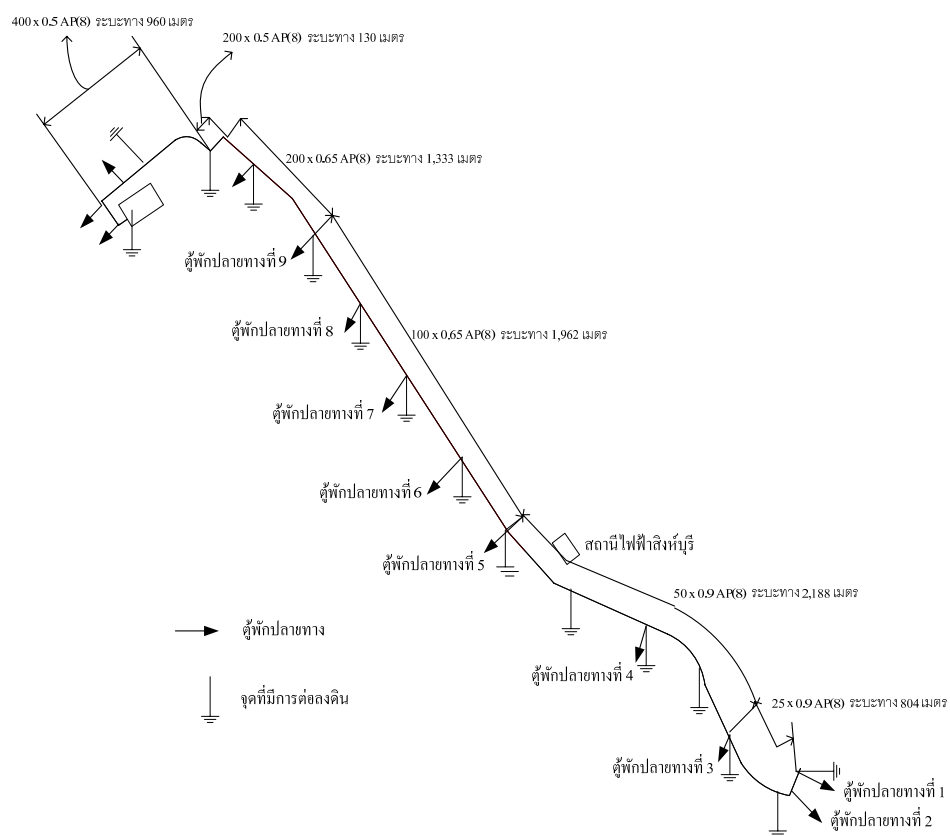
จากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถวางสายโทรศัพท์และแนวสายระบบจำหน่าย ได้ดังภาพ  
ที่ 75



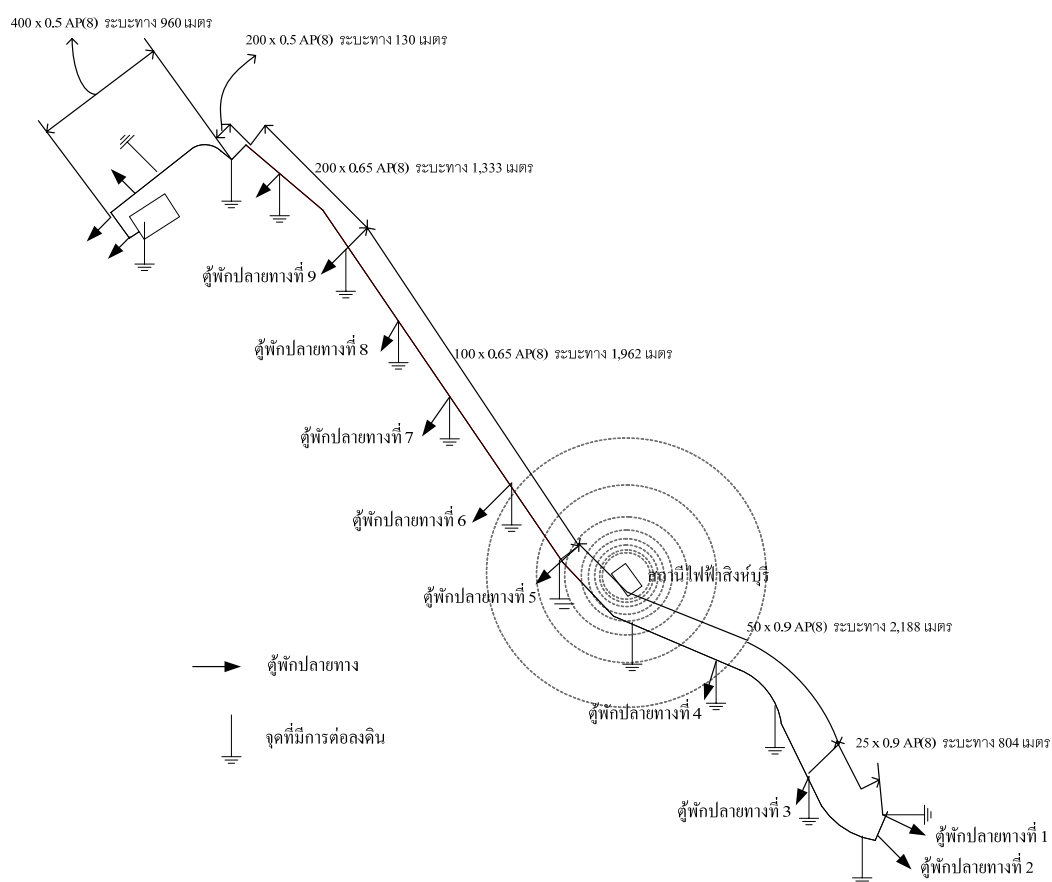
ภาพที่ 75 แสดงข่ายสายโทรศัพท์ชุมสายศาลากลางที่มีบางส่วนขนานไปกับระบบไฟฟ้าขนาด 115  
และ 22 kV

### 3. การคำนวณค่ากระแสและแรงดันที่โหลดกำลัง

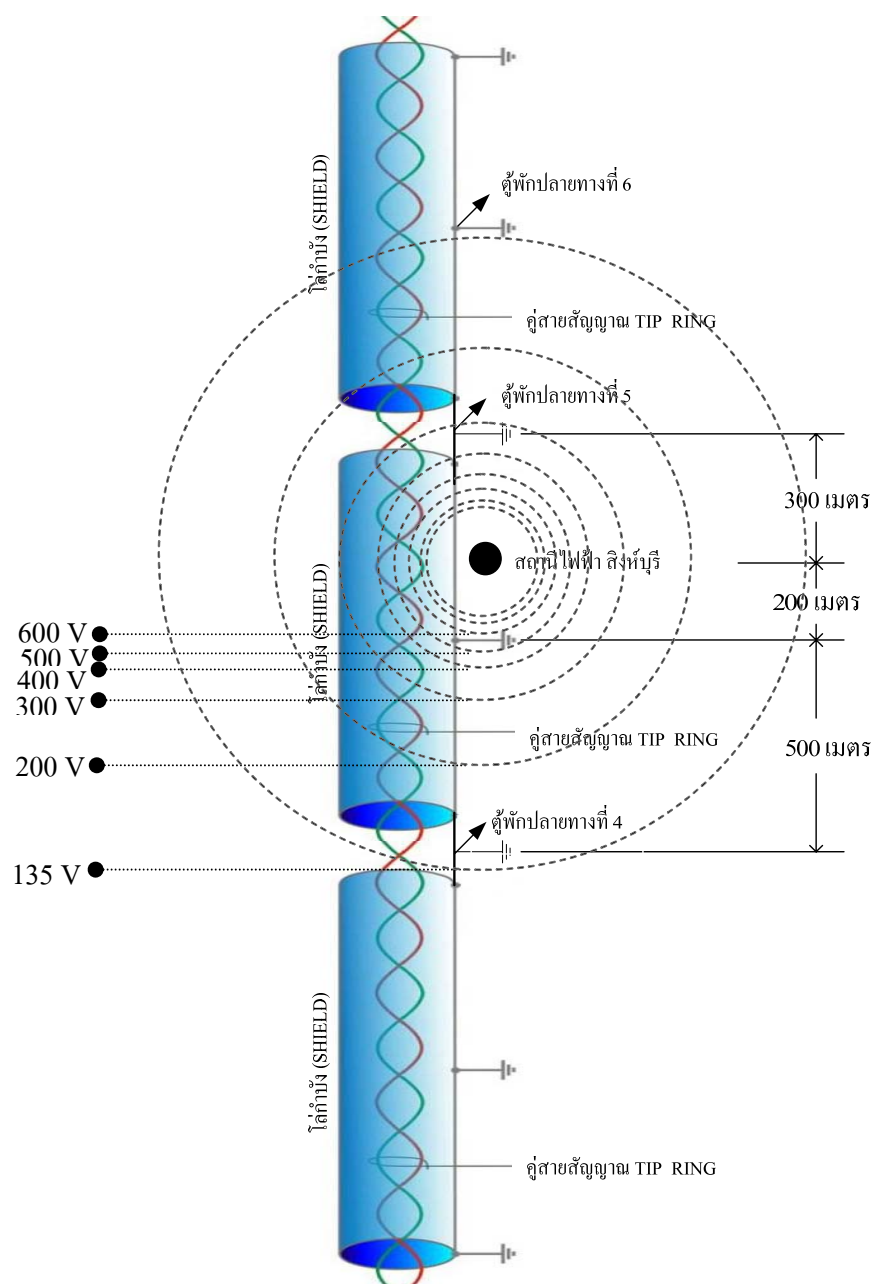
ขั้วสายโทรศัพท์ของชุมสายโทรศัพท์ศาลากลางที่พิจารณาแสดงดังภาพที่ 76



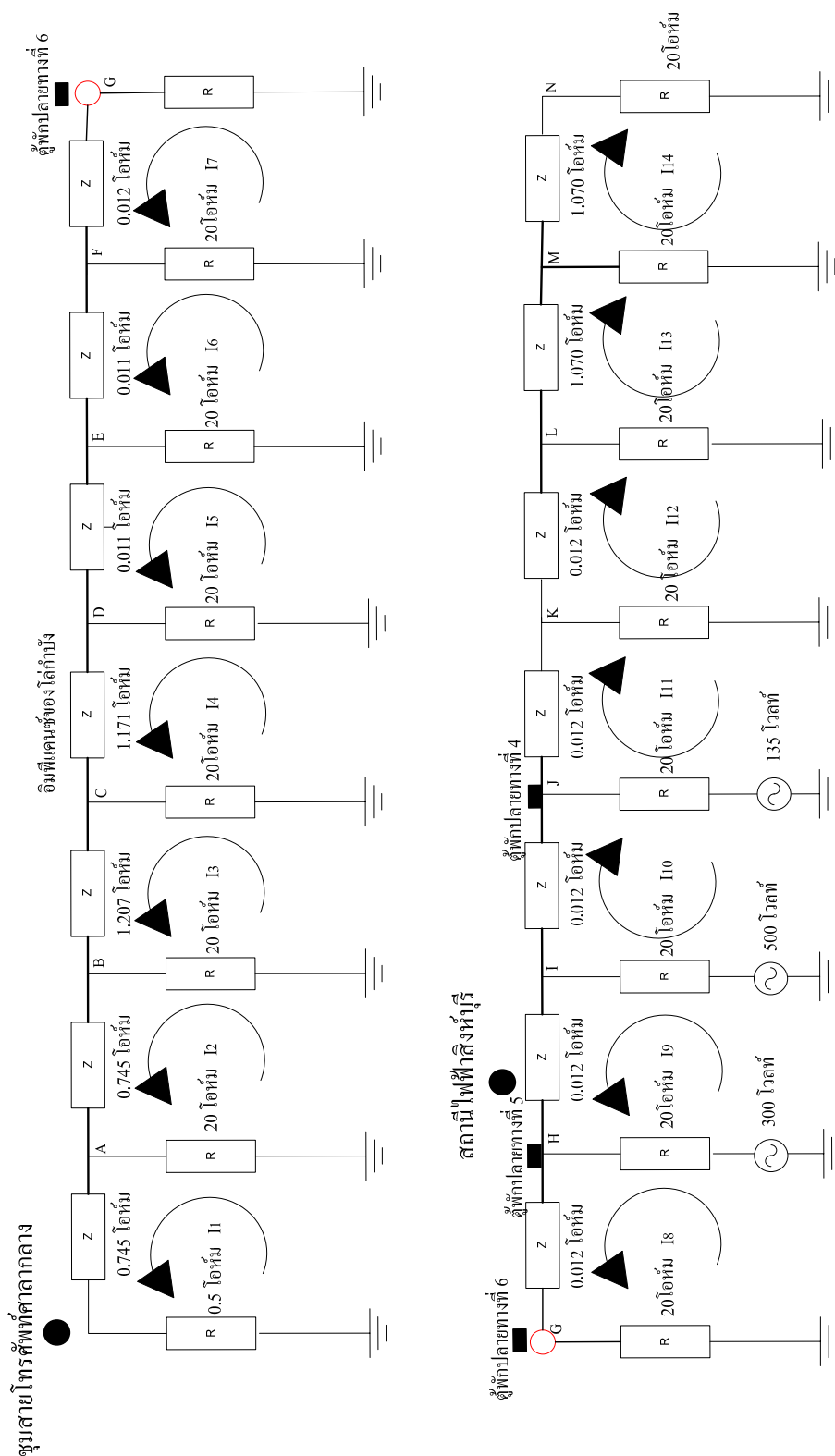
ภาพที่ 76 แสดงขั้วสายโทรศัพท์และตู้พักปลายทางและจุดที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร



ภาพที่ 77 แสดงขั้วสายโทรศัพท์และตู้พักปลายทางและจุดที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร และเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ดินรอบๆ สถานีไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ลงดินในระบบไฟฟ้า ที่ระดับแรงดัน 22 kV



ภาพที่ 78 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังขั้วสายโทรศัพท์ที่มี การต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร ของชุมสายศาลากลาง เส้นทางที่ผ่านสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี ขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV



ภาพที่ 79 แสดงวงจรสมมูลของการต่อลงดินของไล์กำลังทุกๆ 500 เมตร และขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV



จาก

$$[I] = [R]^{-1} * [E]$$

ดังนั้น

$$[E] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 300 \\ 200 \\ 365 \\ 135 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

เมตริก R มีค่าดังนี้

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21.25 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| -20   | 40.75 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | -20   | 41.21 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | -20   | 41.17 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | 20    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 20    | 40.01 | -20   | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 40.01 | -20   | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 41.07 | -20   |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -20   | 41.07 |

INV [R] =

|         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.2186  | 0.1823  | 0.1528  | 0.1325  | 0.1200  | 0.1075  | 0.0951  | 0.0828  | 0.0705  | -0.0582 | -0.0460 | -0.0337 | -0.0215 | -0.0105 |
| 0.1823  | 0.1936  | 0.1623  | 0.1408  | 0.1275  | 0.1143  | 0.1011  | 0.0880  | 0.0749  | -0.0618 | -0.0488 | -0.0359 | -0.0229 | -0.0111 |
| 0.1528  | 0.1623  | 0.1779  | 0.1543  | 0.1398  | 0.1253  | 0.1108  | 0.0964  | 0.0821  | -0.0678 | -0.0535 | -0.0393 | -0.0251 | -0.0122 |
| 0.1325  | 0.1408  | 0.1543  | 0.1772  | 0.1605  | 0.1438  | 0.1273  | 0.1107  | 0.0943  | -0.0779 | -0.0615 | -0.0451 | -0.0288 | -0.0140 |
| 0.1200  | 0.1275  | 0.1398  | 0.1605  | 0.1906  | 0.1708  | 0.1511  | 0.1315  | 0.1120  | -0.0925 | -0.0730 | -0.0536 | -0.0342 | -0.0167 |
| 0.1075  | 0.1143  | 0.1253  | 0.1438  | 0.1708  | 0.1979  | 0.1751  | 0.1524  | 0.1297  | -0.1071 | -0.0846 | -0.0621 | -0.0396 | -0.0193 |
| 0.0951  | 0.1011  | 0.1108  | 0.1273  | 0.1511  | 0.1751  | 0.1992  | 0.1733  | 0.1475  | -0.1219 | -0.0962 | -0.0706 | -0.0451 | -0.0220 |
| 0.0828  | 0.0880  | 0.0964  | 0.1107  | 0.1315  | 0.1524  | 0.1733  | 0.1943  | 0.1654  | -0.1366 | -0.1079 | -0.0792 | -0.0506 | -0.0246 |
| 0.0705  | 0.0749  | 0.0821  | 0.0943  | 0.1120  | 0.1297  | 0.1475  | 0.1654  | 0.1834  | -0.1515 | -0.1196 | -0.0878 | -0.0561 | -0.0273 |
| -0.0582 | -0.0618 | -0.0678 | -0.0779 | -0.0925 | -0.1071 | -0.1219 | -0.1366 | -0.1515 | 0.1664  | 0.1314  | 0.0965  | 0.0616  | 0.0300  |
| -0.0460 | -0.0488 | -0.0535 | -0.0615 | -0.0730 | -0.0846 | -0.0962 | -0.1079 | -0.1196 | 0.1314  | 0.1432  | 0.1052  | 0.0671  | 0.0327  |
| -0.0337 | -0.0359 | -0.0393 | -0.0451 | -0.0536 | -0.0621 | -0.0706 | -0.0792 | -0.0878 | 0.0965  | 0.1052  | 0.1139  | 0.0727  | 0.0354  |
| -0.0215 | -0.0229 | -0.0251 | -0.0288 | -0.0342 | -0.0396 | -0.0451 | -0.0506 | -0.0561 | 0.0616  | 0.0671  | 0.0727  | 0.0783  | 0.0381  |
| -0.0105 | -0.0111 | -0.0122 | -0.0140 | -0.0167 | -0.0193 | -0.0220 | -0.0246 | -0.0273 | 0.0300  | 0.0327  | 0.0354  | 0.0381  | 0.0429  |

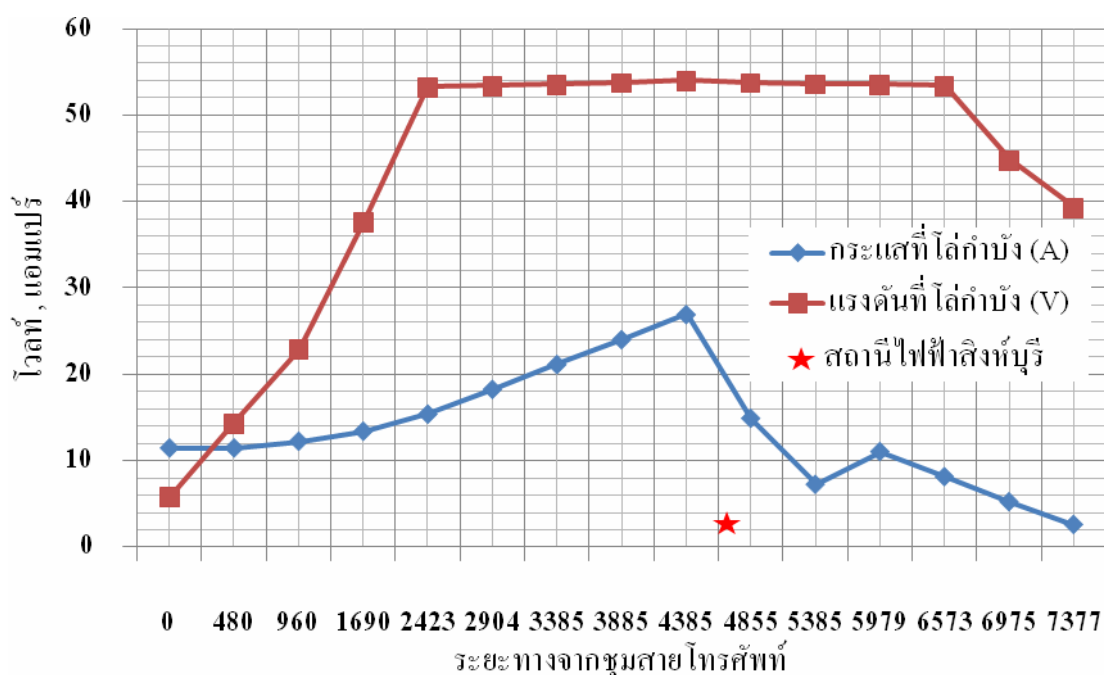
เพราะฉะนั้น

$$\text{จาก } [I] = [R]^{-1} * [E]$$

$$[I] = \begin{bmatrix} 11.4813 \\ 12.1989 \\ 13.3740 \\ 15.3581 \\ 18.2408 \\ 21.1325 \\ 24.0348 \\ 26.9491 \\ 14.8769 \\ 7.1878 \\ 11.0062 \\ 8.0800 \\ 5.1579 \\ 2.5118 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 1} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 2} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 3} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 4} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 5} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 6} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 7} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 8} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 9} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 10} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 11} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 12} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 13} \\ \text{กระแสที่ไหลในวงรอบที่ 14} \end{matrix}$$

**ตารางที่ 13** แสดงค่าแรงดันที่ปรากฏที่โวลท์กัมบังขณะที่เกิดฟอลต์ลงดินที่ระบบ 22 kV แล้วเกิดกราวด์โพเทนเชียลไรส์

| ตำแหน่ง | ระยะทางจาก<br>ชุมสาย(เมตร) | กระแสที่โวลท์กัมบัง<br>(แอมแปร์) | ความต้านทานลงดินของ<br>โวลท์กัมบัง(โอห์ม) | แรงดันที่โวลท์กัมบัง<br>(โวลท์) |
|---------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| ชุมสาย  | 0                          | 11.4183                          | 0.5                                       | 5.7092                          |
| A       | 480                        | 11.4183                          | 20                                        | 14.2729                         |
| B       | 960                        | 12.1989                          | 20                                        | 22.8366                         |
| C       | 1690                       | 13.3740                          | 20                                        | 37.5973                         |
| D       | 2423                       | 15.3581                          | 20                                        | 53.2448                         |
| E       | 2904                       | 18.2408                          | 20                                        | 53.3984                         |
| F       | 3385                       | 21.1325                          | 20                                        | 53.5808                         |
| G       | 3885                       | 24.0348                          | 20                                        | 53.7922                         |
| H       | 4385                       | 26.9491                          | 20                                        | 54.0325                         |
| I       | 4855                       | 14.8769                          | 20                                        | 53.7630                         |
| J       | 5385                       | 7.1878                           | 20                                        | 53.6143                         |
| K       | 5979                       | 11.0062                          | 20                                        | 53.5424                         |
| L       | 6573                       | 8.0800                           | 20                                        | 53.4323                         |
| M       | 6975                       | 5.1579                           | 20                                        | 44.7867                         |
| N       | 7377                       | 2.5118                           | 20                                        | 39.2678                         |



ภาพที่ 80 กราฟแสดงระดับแรงดันและกระแสที่ไล่กำบังที่ระยะทางต่างๆจากชุมสายโทรศัพท์

หมายเหตุ สถานีไฟฟ้าสิงห์บุรีอยู่ห่างจากชุมสายโทรศัพท์ 4,685 เมตร

### วิจารณ์

#### การทดลองอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินสำหรับสายสัญญาณโทรศัพท์

1 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ปลายทาง(หลอดคายประจุผ่านก๊าซ)จะมีระดับการเบรกดาวน์ที่ประมาณ  $135 V_p$  ซึ่งจะใช้ค่านี้ในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรส์

2 หลอดคายประจุผ่านก๊าซสามารถเบรกดาวน์ได้ 2 ทิศทางดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบระบบป้องกันสำหรับติดตั้งที่ปลายทาง(ผู้ใช้บริการ) โดยระบบป้องกันที่ออกแบบจะใช้หลักการแยก แล้วต่อกลับโดยอัตโนมัติ เช่นเดียวกับอุปกรณ์ป้องกันที่ต้นทาง(ชุมสายโทรศัพท์) แต่ต้องป้องกันได้ทั้งข่ายสายและเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการ

3 การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งต้นทาง(MDF Protector) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากมีอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรอง ซึ่งเมื่อทำงานจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงาน จึงทำให้แยกส่วนที่ป้อนแรงดันทดสอบออกจากout put นั้นหมายถึง เซอร์จะมาไม่ถึงอุปกรณ์ที่ได้ทำการป้องกัน

#### การคำนวณค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ , ค่ากระแสและแรงดันที่ไล์กำลัง

จากการคำนวณหาค่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ซึ่งมีค่าสูงสุด คือ 3918.45 โวลต์ ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพล มีรัศมี 735 เมตร จากสถานีไฟฟ้า (ระดับแรงดัน = 135 V) จะเห็นว่ากราวด์โพเทนเชียลไรซ์สามารถทำให้เกิดกระแสไหลวนในไล์กำลังและมีทิศทางทั้งเข้าชุมสายโทรศัพท์และไหลในทิศทางออกจากชุมสายโทรศัพท์กระแสจำนวนที่มากที่สุดไหลในวงรอบที่ 8 มีขนาดสูงถึง 26.95 แอมแปร์ ซึ่งสามารถทำความเสียหายให้แก่เคเบิลโทรศัพท์ได้ถ้ามีจุดต่อเชื่อมไล์กำลังที่ไม่แน่น ก็จะทำให้เกิดความร้อนจากการอาร์คและทำให้เคเบิลไหม้เสียหาย สำหรับแรงดันที่เกิดขึ้นที่ไล์กำลังอันเนื่องมาจากกระแสที่ไหลที่ไล์กำลังสูงสุด 54.03 โวลต์ โดยเทียบกับจุดต่อลงดินที่ตำแหน่งชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งถือว่าไม่มากนัก

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

นอกจากผลจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ทำให้เกิดกระแสไหลวนและแรงดันในโล่กำบังของเคเบิลแล้ว ยังทำให้เกิดขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพล ซึ่งพื้นที่ที่ว่าจะเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ดินมีค่าสูงขึ้น ดังภาพที่ 77 และ ภาพที่ 78 แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ ดังนั้น ผู้ให้บริการที่อยู่ในพื้นที่นี้อาจได้รับแรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์นี้ผ่านทางอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่เรียกว่ากันฟ้า ดังการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน ซึ่งอาจทำให้แรงดันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ไปปรากฏที่เครื่องโทรศัพท์ของผู้ให้บริการ และที่อุปกรณ์เครื่องชุมสาย ดังนั้นจึงควรพิจารณาออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินที่ติดตั้งที่ผู้ให้บริการให้สามารถป้องกันแรงดันเกินจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ได้

การวิเคราะห์การแก้ปัญหาแรงดันเกินจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์นี้จะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ 2 ชนิด คือ

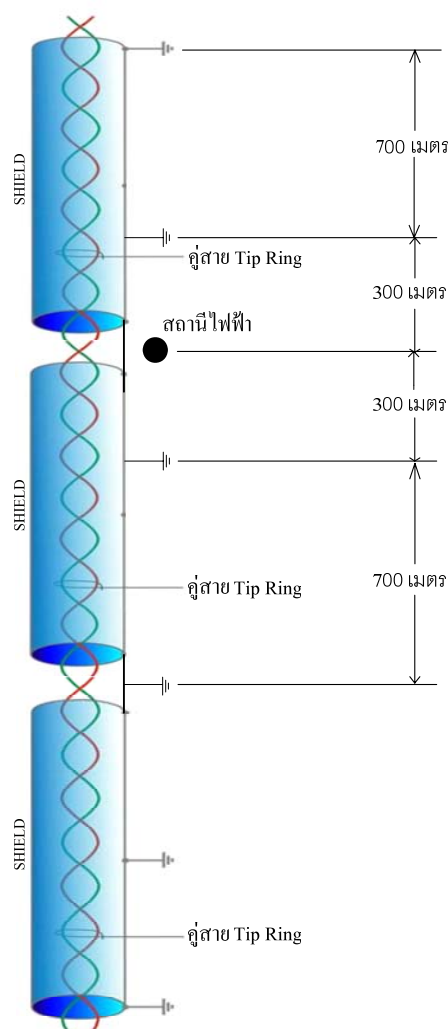
1. ผลกระทบที่เกิดจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ทำให้เกิดกระแสไหลวนในโล่กำบังของเคเบิล
2. ผลกระทบที่เกิดจากการวางตัวโพเทนเชียลไรซ์ทำให้เกิดขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับศักย์ไฟฟ้าที่ดินสูงขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

ผลกระทบแรก ควรใช้วิธีหลีกเลี่ยงจุดต่อลงดินของโล่กำบัง โดยเมื่อพิจารณาจากข้อกำหนดหรือมาตรฐานการต่อลงดินของข่ายสายโทรศัพท์ที่กำหนดให้มีการต่อลงดินของโล่กำบังทุกๆ ระยะ 500 -600 เมตร โดยเริ่มจุดแรกที่ตำแหน่งชุมสายโทรศัพท์ ควรมีการพิจารณาใหม่ สำหรับกรณีที่ข่ายสายเคเบิลโทรศัพท์เส้นที่ผ่านสถานีไฟฟ้า โดยให้พิจารณาการต่อลงดินของโล่กำบังจุดแรกว่า ให้ห่างจากสถานีไฟฟ้าไปข้างละ 300 เมตร เท่าๆ กัน ทั้งสองข้าง แล้วจุดถัดไปทั้งสองข้างก็ห่างกัน 700 เมตร(เพื่อไม่ต้องเปิดเปลือกเคเบิลโดยไม่จำเป็น) ต่อจากนั้นก็ห่างกัน

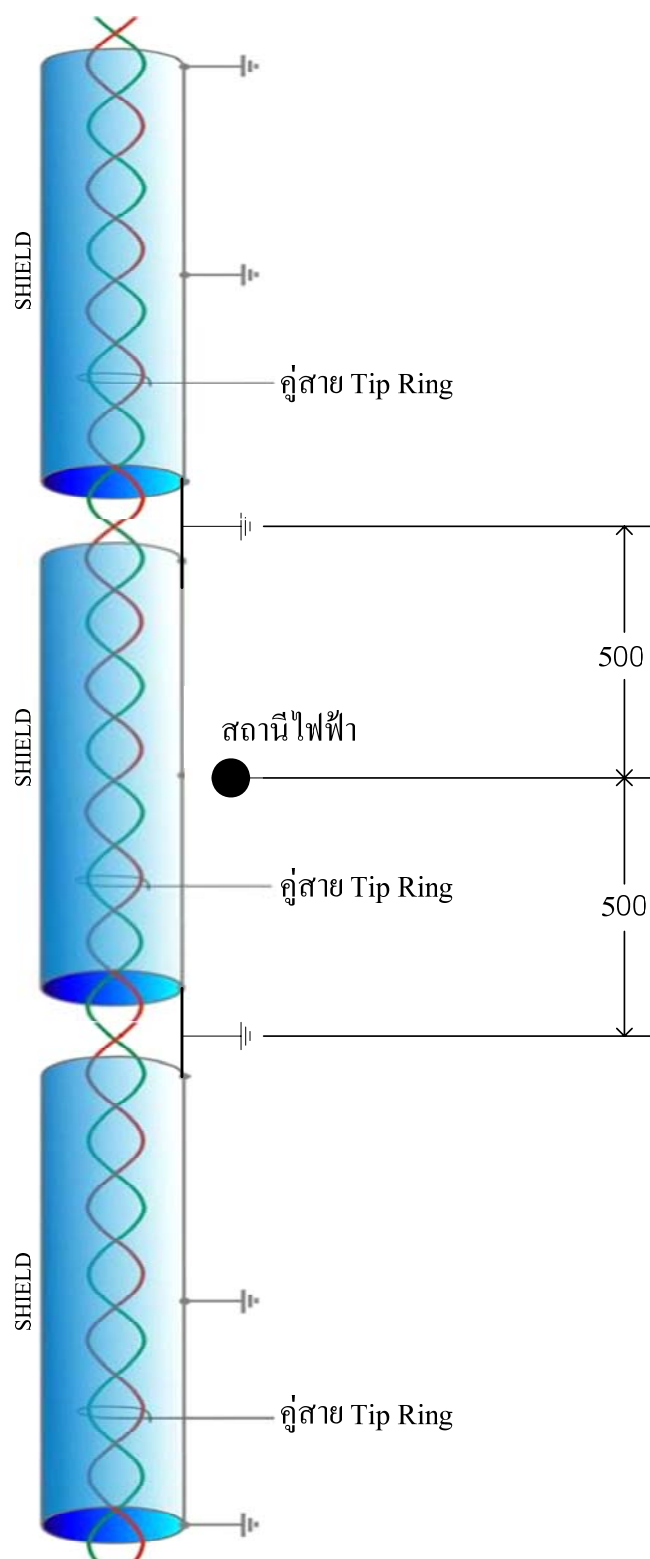
ตามปกติคือ 500 -600 เมตร ซึ่งวิธีนี้ การต่อลงดินของโล่กำบังก็จะไม่ขาดช่วงเพียงแค่พิจารณาจุดเริ่มต้นของการต่อลงดินใหม่สำหรับข่ายสายที่ผ่านสถานีไฟฟ้า ดังภาพที่ 81 หรืออาจพิจารณาเว้นการต่อลงดินของโล่กำบังช่วงบริเวณที่ผ่านสถานีไฟฟ้าข้างละ 500 เมตร เท่ากันทั้งสองข้าง ดังภาพที่ 82 ก็จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อข่ายสายและอุปกรณ์รวมถึงผู้ปฏิบัติงานซึ่งอาจมีการปฏิบัติอยู่

สำหรับข่ายสายโทรศัพท์ชุมสายศาลากลางที่ผ่านสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี ไม่ควรต่อลงดินของโล่กำบังในตำแหน่งตู้พักปลายทางที่ 5 และจุดกลางเคเบิลระหว่างตู้พักปลายทางที่ 4 กับตู้พักปลายทางที่ 5 ดังภาพที่ 83

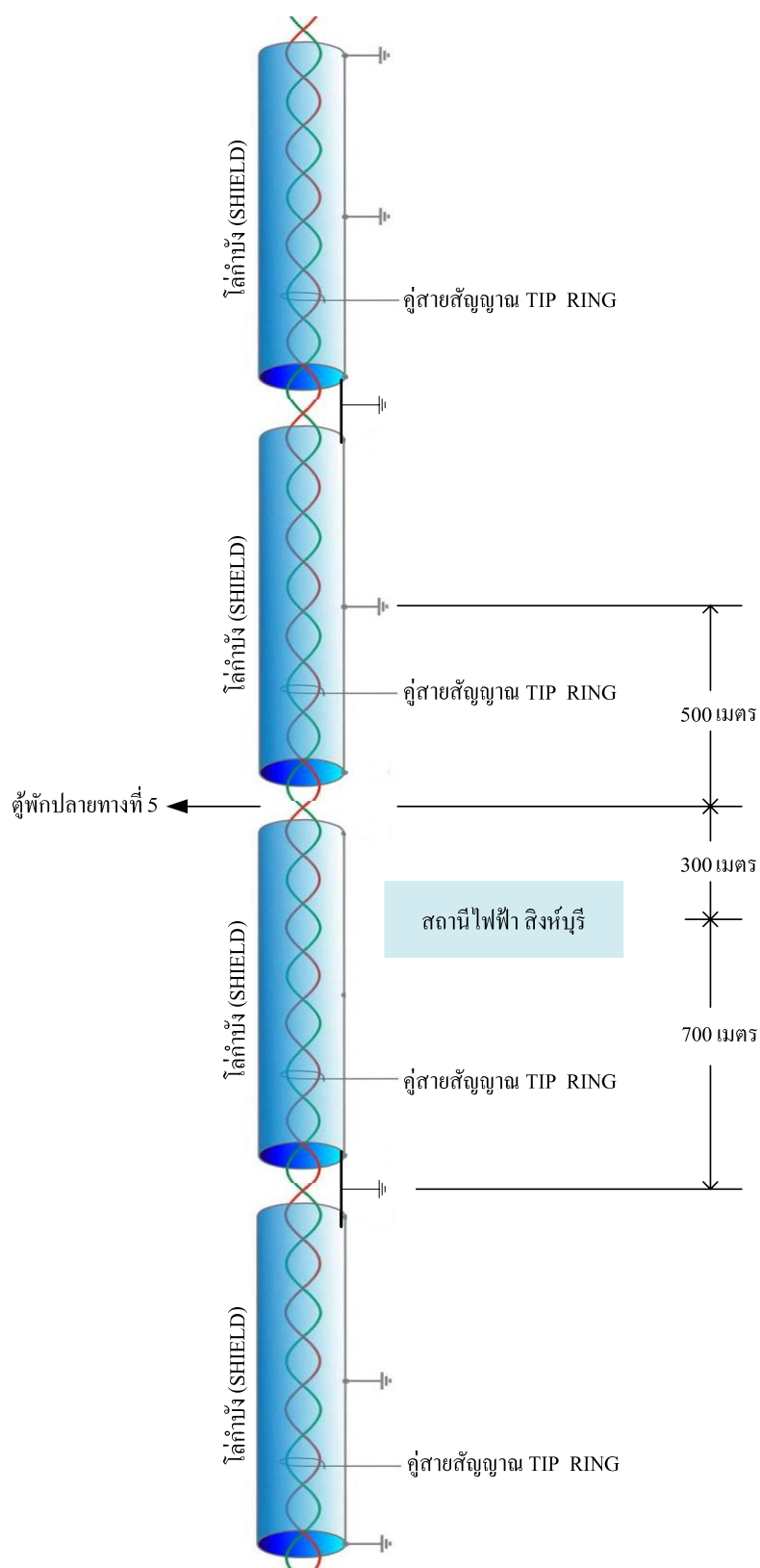


**ภาพที่ 81** แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังข่ายสายโทรศัพท์ที่มี การต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร แต่เริ่มจากสถานีไฟฟ้าข้างละ 300 เมตร ถัดไปข้างละ 700 เมตร ต่อจากนั้น 500 -600 เมตร



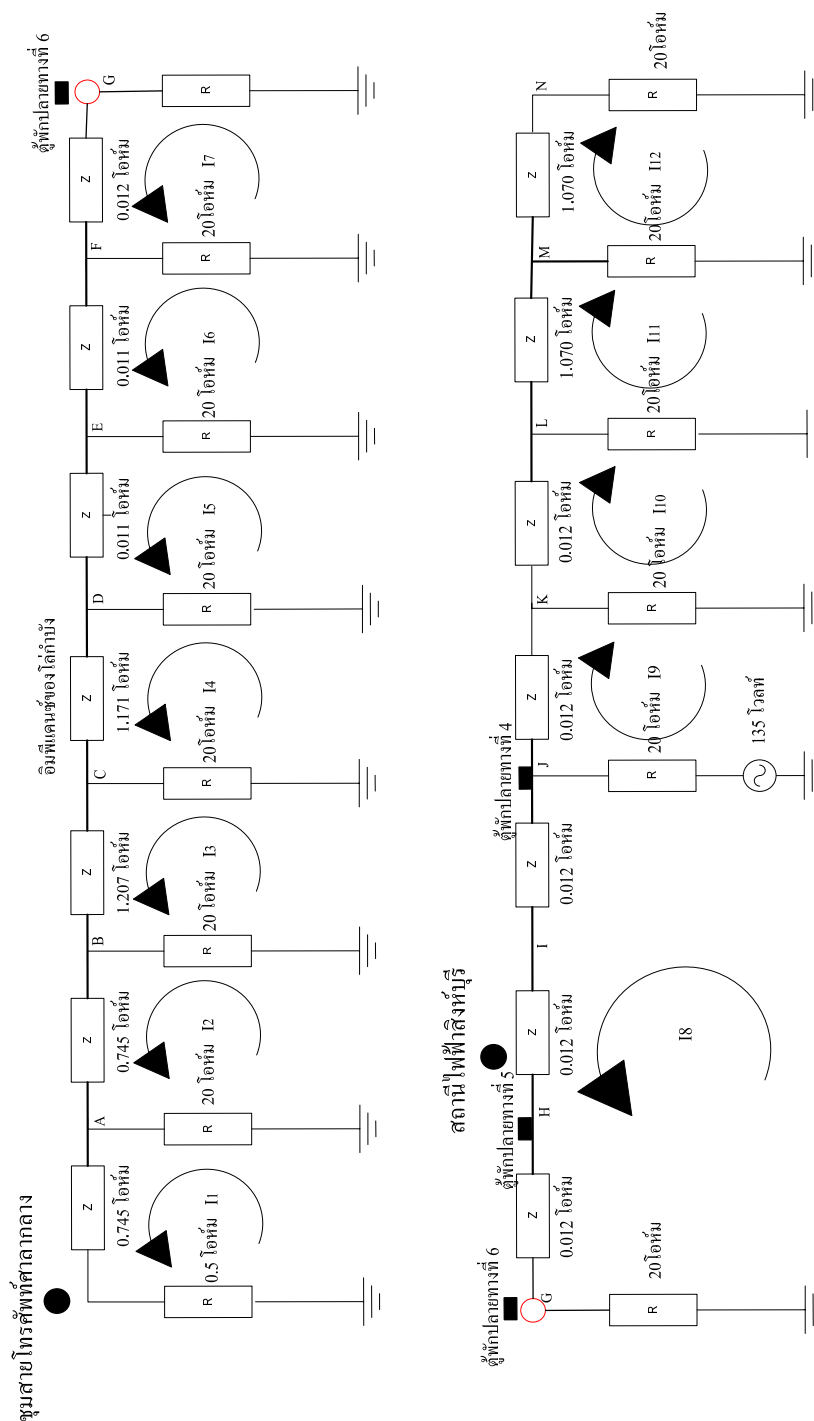


**ภาพที่ 82** แสดงลักษณะการต่อได้กำบังถึงกันและการต่อลงดินของได้กำบังข่ายสายโทรศัพท์  
ที่มีการต่อลงดินทุกๆ 500 เมตร โดยจุดแรกให้เริ่มจากสถานีไฟฟ้า ห้างออกไปข้างละ  
500 เมตร



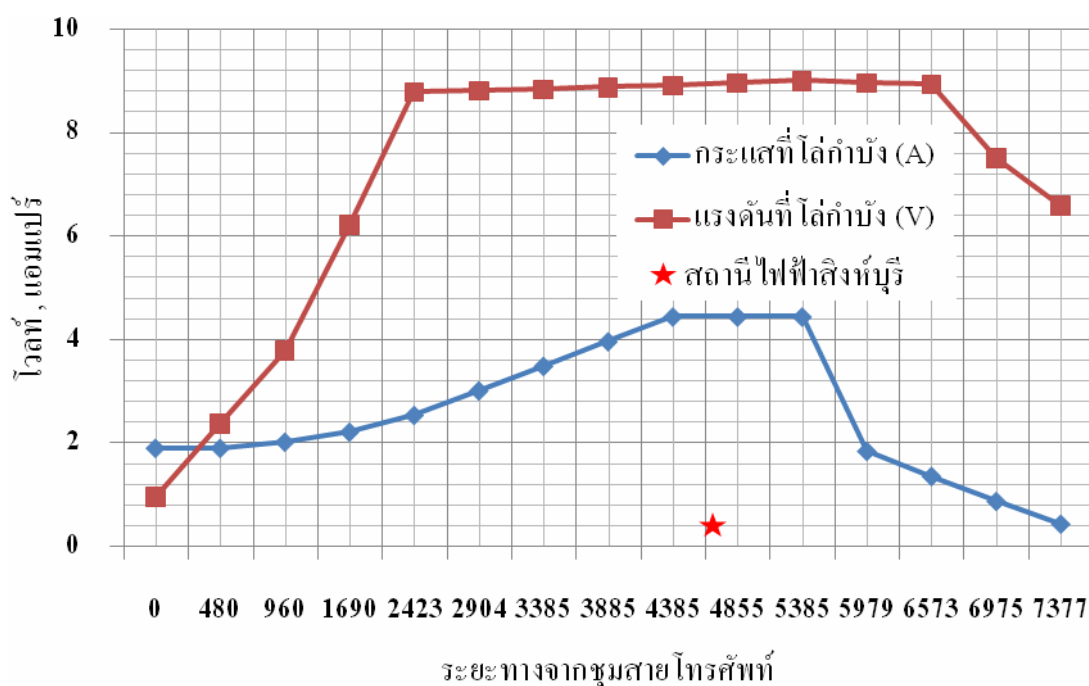
ภาพที่ 83 แสดงลักษณะการต่อโล่กำบังถึงกันและการต่อลงดินของโล่กำบังขั้วสายโทรศัพท์  
หุ้มสายโทรศัพท์ศาลากลาง ที่ผ่านสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี(ตามข้อเสนอแนะนี้)

จากภาพที่ 83 สามารถเขียนวงจรสมมูลยี่ได้ดังภาพที่ 84



ภาพที่ 84 แสดงวงจรสมมูลของการต่อลงดินของโล่กำบังทุกๆ 500 เมตร โดยไม่ลงกราวด์ที่ตำแหน่งตู้พักปลายทางที่ 5 และจุดระหว่างตู้พักปลายทางที่ 4 กับ 5 (ตามข้อเสนอนេះ) และขณะเกิดฟอลต์ที่ระดับ 22 kV

ค่ากระแสที่ไหลที่โล่กำบังและแรงดันที่เกิดขึ้นที่โล่กำบังจากการแก้ไขโดยการไม่นำโล่กำบังต่อลงดินที่ตำแหน่งตู้พักปลายทางที่ 5 และจุดระหว่างตู้พักปลายทางที่ 4 และ 5 แสดงดังภาพที่ 85 ซึ่งกระแสสูงสุดที่ไหลที่โล่กำบัง คือ 4.4 แอมแปร์ และแรงดันที่เกิดขึ้นที่โล่กำบังสูงสุดเมื่อเทียบกับจุดกราวด์ที่ตำแหน่งชุมสายโทรศัพท์ เท่ากับ 8.9 โวลต์ ซึ่งจะเห็นว่ามีจำนวนลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการนำโล่กำบังของเคเบิลต่อลงดินที่ทุกๆระยะ 500 เมตร และจุดต่อลงดินนั้นอยู่ในเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์



ภาพที่ 85 กราฟแสดงระดับแรงดันและกระแสที่โล่กำบังที่ระยะทางต่างๆจากชุมสายโทรศัพท์ กรณีที่มีการเว้นการต่อลงดินที่ตู้พักปลายทางที่ 5 และที่จุดระหว่างตู้พักปลายทางที่ 4 กับ 5

ผลกระทบที่สอง หรือศักย์ไฟฟ้าที่ดินที่เกิดจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ สามารถเบรกดาวน์ผ่านหลอดคายประจุผ่านก๊าซ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันปลายทางที่เรียกกันว่า กันฟ้า ควรพิจารณาออกแบบอุปกรณ์ป้องกันให้สามารถป้องกันแรงดันจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ ในที่นี้จะพิจารณาอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งต้นทางนำมาประยุกต์

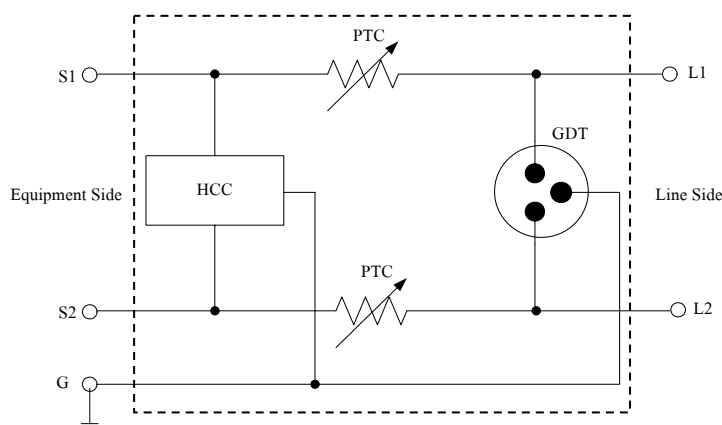
การป้องกันลัดวงจรทางสายสัญญาณโทรศัพท์ มี 2 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันคือ

1. การป้องกันที่ตำแหน่งต้นทาง(ชุมสายโทรศัพท์)จะเป็นวงจรรวมซึ่งมี

1.1 หลอดคายประจุผ่านก๊าซทำหน้าที่เป็นPrimary Overvoltage Protection โดยทำการลัดวงจรลัดวงจรลงกราวด์ ทั่วไปแล้วต้องมีค่าแรงดันเบรกคาวนมากกว่า Secondary Overvoltage Protection ปัจจุบันนิยมใช้ค่าแรงดันเบรกคาวนเท่ากับ 230 Vdc

1.2 Hybrid Clamping Circuit อุปกรณ์ป้องกันนี้จะป็นชนิด solid state ทำหน้าที่เป็น Secondary Overvoltage Protection ซึ่งจะทำงานเมื่อลัดผ่านมาจากอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินหลัก ขณะนี้นิยมใช้ค่าแรงดันเบรกคาวนเท่ากับ 200 Vdc อุปกรณ์นี้มีหลักการทำงานโดยวิธีแคล้มแรงดัน

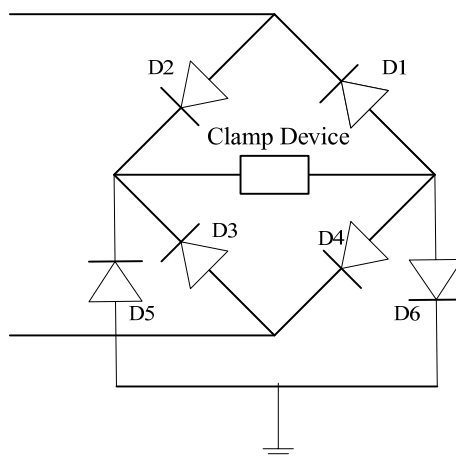
1.3 Positive Temperature Coefficient Thermister ( PTC ) เป็นอุปกรณ์ป้องกันทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกินซึ่งจะทำการแยกวงจรออกจากระบบส่วนที่เกิดปัญหา โดยจะทำการแยกวงจรเมื่ออุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรื่องทำงานเพราะจะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลผ่านตัวมัน



ภาพที่ 86 วงจรอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งต้นทาง(ชุมสายโทรศัพท์)

โดยที่ Three Electrode Arrester with fail safe ( GDT ) ซึ่งเป็นหลอดคายประจุผ่านก๊าซ Positive Temperature Coefficient Thermister ( PTC )ซึ่งค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน และ Hybrid Clamping Circuit ( HCC ) โดยจะเป็นลักษณะการต่อกันของไดโอด 6 ตัว และอุปกรณ์แคล้มแรงดัน ไดโอด

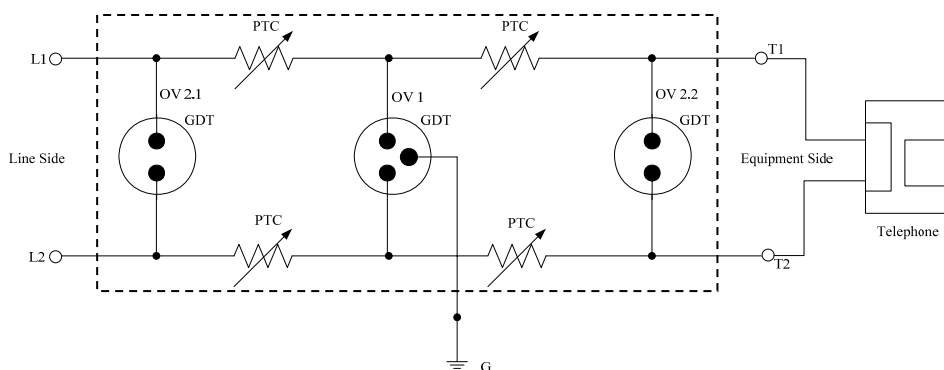
จะทำหน้าที่เพื่อลดค่าความจุไฟฟ้าของอุปกรณ์แคล้มแรงดันซึ่งอาจจะเป็น MOV หรือ SOLID STATE มีรูปแบบวงจรดังภาพที่ 86



ภาพที่ 87 วงจรสมมูลภายในตัวอุปกรณ์ Hybrid Clamping Circuit

2. การป้องกันที่ตำแหน่งของผู้ให้บริการในปัจจุบันนี้จะเป็นหลอดคายประจุผ่านก๊าซเพียงตัวเดียวซึ่งยังไม่สามารถทำหน้าที่ป้องกันกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ได้ดังภาพที่ 47 โดยจากการศึกษาและการทดสอบทำให้ทราบว่าหลอดคายประจุผ่านก๊าซนอกจากจะทำหน้าที่ลัดวงจรเสร็จที่มาจากสายสัญญาณลงสู่ดินแล้วตัวมันเองยังสามารถนำเสร็จจากดินกลับขึ้นมาที่สายนำสัญญาณได้ด้วย ดังนั้นการออกแบบจึงพิจารณาอุปกรณ์ป้องกันปลายทางให้สามารถลัดวงจรส่วนที่เกิดปัญหาออกจากระบบโดยใช้หลักการป้องกันเช่นเดียวกับอุปกรณ์ป้องกันที่ต้นทาง

การออกแบบวงจรสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์ และยังทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกินทางสายสัญญาณได้ด้วย โดยอาศัยหลักการแยกโดยใช้ Positive Temperature Coefficient Thermistor ( PTC ) ซึ่งค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน ซึ่งกระแสเสร็จจะไหลผ่านตัว PTC เมื่ออุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรองหรืออุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินหลักที่ตำแหน่งต้นทาง ทำงานดังภาพที่ 88



ภาพที่ 88 วงจรอุปกรณ์ป้องกันที่ตำแหน่งปลายทาง(ผู้ให้บริการ)ที่ได้ทำการออกแบบ

วงจรอุปกรณ์ป้องกันดังภาพที่ 88 สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรอง OV 2.1(GDT พิกัดแรงดันเบรกดาวน์ 230 Vdc)ได้เมื่อพิจารณาว่าอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน(PTC) จะทำงานเมื่ออุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินหลักหรืออุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรองที่ต้นทาง (MDF)ทำงานก็จะทำให้มีกระแสจำนวนมากไหลผ่านPTC แต่ต้องคำนึงถึงจำนวนกระแสที่จะไหลผ่านคู่สาย Tip Ring และแรงดันที่เกิดขึ้นที่คู่สายTip Ring ด้วย และเช่นกัน อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินรอง OV 2.2(GDT พิกัดแรงดันเบรกดาวน์ 200 Vdc) ก็สามารถเอาออกได้เมื่อพิจารณาว่าแรงดันเกินเล็กร์ที่ตกคร่อมเครื่องโทรศัพท์ที่มีค่าเท่ากันจึงไม่มีกระแสไหล แต่ทั้งนี้ขอแนะนำว่า OV 2.1 และ OV 2.2 สมควรติดตั้งไว้เนื่องจากการเบรกดาวน์ของ หลอดคายประจุผ่านก๊าซ (OV 1 พิกัดแรงดันเบรกดาวน์ 230 Vdc) ค่อนข้างจะไม่พร้อมกัน(ระหว่างขั้ว Tip กับ Ring) ซึ่งจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมคู่สาย Tip Ring มีจำนวนสูง ในช่วงเวลาสั้นๆก่อนที่จะหลอดคายประจุผ่านก๊าซจะทำงานสมบูรณ์ แต่นั่นก็หมายความว่าเครื่องโทรศัพท์หรือโมเด็มของผู้ให้บริการหรือคู่สายเคเบิลอาจจะเสียหายไปแล้ว

ชุมสายโทรศัพท์สาขากลางจังหวัดสิงห์บุรี ควรพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์สำหรับผู้ให้บริการที่ต่อคู่สายใช้งานจากตู้พักปลายทางที่ 4,5 และตู้พักปลายทางที่ 6 เนื่องจากตู้พักปลายทางทั้งสามตู้ตั้งอยู่ติดหรืออยู่ในขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกราวด์โพเทนเชียลไรซ์

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. แบบก่อสร้างกราวด์กริดสถานีไฟฟ้าสิงห์บุรี

กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า. 2550. รายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ และ เทพกัญญา ชัดิแสง. 2549. การต่อลงดิน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. ม.ป.ป. สภาพ ground plane ของโลกที่มีอยู่ในดิน. แหล่งที่มา:

<http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/lightning/re.html>. 19 สิงหาคม 2550.

ประมุข อุณหเลขกะ, แสงอุทัย ไพจิตร และ สันติ อัสวศรีพงษ์ธร. 2549. อิทธิพลของการเหนี่ยวนำจากสายไฟฟ้ากำลังต่อโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการขณะหลุดคายประจุผ่านก๊าซชำระ, น. 285-288. ใน รายงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29. พัทยา, ชลบุรี

ฝ่ายมาตรฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร บมจ.ทีโอที. 2548. คู่มือปฏิบัติงานตรวจสอบและปรับปรุงเคเบิลเพื่อรองรับการให้บริการสื่อสารข้อมูล. บริษัท ทีโอ ที จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2548. มาตรฐานการต่อลงดินชุมสาย. บริษัท ทีโอ ที จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ฝ่ายมาตรฐานโครงข่าย บมจ.ทีโอที. 2548. มาตรฐานการต่อลงดินข่ายสาย. บริษัท ทีโอ ที จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค บมจ.ทีโอที. 2550. การบรรยายเชิงปฏิบัติการเรื่อง การปรับปรุงระบบกราวด์ชุมสายและกราวด์ข่ายสาย. บริษัท ทีโอ ที จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.



สภาวิศวกร. 2547. **Fault Analysis**. แหล่งที่มา:

<http://www.coe.or.th/co06exm/SEPR/ch9.pdf>. 29 สิงหาคม 2550.

ตำรวจ สังกัดเสนา. 2547. **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Manse Williams & Ian Atkins. n.d. **Circuit Protection for Telephone Networks- Needs and  
Co-ordination**. Raychem Corporation 300 Constitution Dr, Menlo Park, CA 94025

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2000. **IEEE Guide for Safety  
in AC Substation Grounding**. IEEE Std. 80-2000.

\_\_\_\_\_. 1996. **IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station  
Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault**. IEEE Std. 367-  
1996.

\_\_\_\_\_. 2000. **IEEE Recommended Practice for the Protection of Wire-Line  
Communication Facilities Serving Electric Supply Locations**. IEEE Std. 487-2000.

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                              |                                              |
|------------------------------|----------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                | นายแสงอุทัย ไพจิตร                           |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด         | 10 ตุลาคม 2509                               |
| สถานที่เกิด                  | อำเภอบางกอกน้อย จังหวัดกรุงเทพมหานคร         |
| ประวัติการศึกษา              | วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยฉะเชิงเทรา |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | วิศวกร ระดับ 6                               |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน         | บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)                  |