

บทที่ 7. Insulation coordination in substation

1. คำจำกัดความ

คำว่า insulation coordination คือ การออกแบบสถานที่ที่พิจารณาเรื่องการเลือกขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสม ไม่เกิด ความเสียหาย (insulation failure) วิธีการคือ ควบคุม แรงดันที่ผิดปกติ (abnormal stress) เพื่อให้เหมาะสมกับระดับที่ฉนวนทนได้ (insulation strength)

2. คุณลักษณะเฉพาะของฉนวน (characteristic of insulation)

สามารถแบ่งฉนวนที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ 2 ชนิด คือ

- ชนิดที่สามารถกลับคืนสภาพเป็นฉนวนได้อีกหลังจากที่เกิด flashover เรียกว่า 'self-restoring'

การเกิด flashover ที่ภายนอกของลูกถ้วยที่ใช้ในสายส่ง (line insulator) เนื่องจากแรงดันฟ้าผ่า (lightning surge) หรือ แรงดันเกินอันเนื่องจากการปลด-สับสายส่ง (switching surge) อาจจะทำให้เกิด ground fault ตามมา เมื่อกระแสลัดวงจรหายไปเนื่องจากการทำงานของ breaker จะพบว่าลูกถ้วยยังคงสามารถใช้งานได้ต่อไปได้ หรือยังสามารถทนแรงดันระบบปกติ (normal system voltage) ได้

- ชนิดที่ไม่สามารถกลับคืนสภาพเป็นฉนวนได้อีกหลังจากที่เกิด flashover เรียกว่า 'non-self-restoring'

ฉนวนภายในหม้อแปลงประเภทกระดาษ pressboard หรือฉนวนของ cable เมื่อเกิดทะลุเนื่องจากแรงดันเกิน (puncture) จะเกิดความเสียหายถาวรไม่สามารถทนแรงดันระดับปกติได้ต่อไป

จุดประสงค์ของการออกแบบ insulation coordination คือ จำกัดความเสียหายให้อยู่ในส่วนของ self-restoring insulation เท่านั้น

ฉนวนประเภท self-restoring จะถูกทดสอบเพื่อให้ทราบค่า V_{50} หรือ ค่า CFO (critical flashover voltage) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ (standard deviation) ค่า critical flash over voltage เป็นค่าแรงดัน ระบุเป็น crest value ของ impulse wave ที่ทดสอบในสภาพแวดล้อมกำหนด โดยที่แรงดันนั้นก่อให้เกิด flashover ภายนอกเหนือฉนวน 50% ของจำนวนครั้งที่ทดสอบ

ค่าเบี่ยงเบนของแรงดัน critical flash over voltage ของฉนวนลูกถ้วย ภายนอกฉนวน (external insulation) มีค่าตามประเภทแรงดันดังนี้

- lightning impulse มีค่า 0.03 ของแรงดันเฉลี่ย
- switching impulse มีค่า 0.06 ของแรงดันเฉลี่ย

เมื่อรู้ฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดของแรงดันที่ป้อน กับ โอกาสที่จะเกิด flashover ก็จะคำนวณโอกาสที่จะเกิด flashover ที่แรงดันอื่นๆ ได้จากค่า V_{50} และ σ สำหรับฉนวน

ประเภท self-restoring มักจะใช้ Gaussian cumulative frequency distribution แทนความสัมพันธ์ดังกล่าว แต่ฟังก์ชันนี้ให้ค่าถูกต้องตามปรากฏการณ์จริงในช่วงแรงดัน CFO+/- 3σ จุดปลายที่แรงดัน CFO - 3σ เรียกว่า statistical withstand voltage (SWV) ตามฟังก์ชันนี้มีโอกาสเกิด flashover เท่ากับ 0.13% แต่ในความเป็นจริงไม่เกิด flashover เลย

ฉนวนประเภท non-self-restoring จะไม่สามารถถูกทดสอบเพื่อหาค่าในลักษณะนี้ได้ ตามมาตรฐานได้กำหนดให้ทดสอบ และต้องผ่านการทดสอบโดยที่ไม่เกิดความเสียหาย โดยกำหนดค่าให้ทดสอบที่แรงดันประเภทต่างๆ

สามารถทดสอบฉนวน self-restoring เพื่อหา mean flashover (V_{50}) และ standard deviation (σ) ส่วน non-self-restoring ไม่สามารถทดสอบเช่นเดียวกันนี้ได้ จะทดสอบที่ระดับทนได้ (withstanding) ถ้าผ่านการทดสอบจะแสดงว่า ฉนวนนั้นมีโอกาสสูงมากที่จะทนระดับแรงดันที่ระบุ เรียกว่า basic impulse level หรือ basic insulation level withstand (BIL)

standard stress ประกอบด้วย

- power frequency มีรูปร่างที่เป็นมาตรฐานเป็นรูป sine wave ที่มีความถี่ 50 Hz
- lightning impulse มีรูปร่างที่เป็นมาตรฐานเป็นรูป double exponential waveshape ที่มีความชันหน้าคลื่น front-time เท่ากับ 1.2 μs และเวลาที่หางคลื่นลดลงเหลือครึ่ง (time to half-value) เท่ากับ 50 μs
- switching impulse มีรูปร่างที่เป็นมาตรฐานเป็นรูปคลื่นมี front-time เท่ากับ 250 μs และเวลาที่หางคลื่นลดลงเหลือครึ่งเท่ากับ 2500 μs

stress ต่างๆ ตามขนาดที่มาตรฐานสากลกำหนด เป็นที่ยอมรับว่าเหมาะสมกับ stress ที่เกิดขึ้นจริงในระบบ การเลือกฉนวนเพื่อใช้ในระบบที่ระดับแรงดันต่างๆ ให้สอดคล้องจะสามารถทน stress ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้

3. standard insulation levels

จะกำหนดเป็น rated withstand voltage ตามแรงดันสูงสุดของระบบ ระบบที่มีแรงดันต่ำกว่า 300 kV ไม่มีปัญหาเรื่อง switching surge จึงไม่จำเป็นต้องกำหนด

standard insulation levels สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบที่มีแรงดันต่ำกว่า 300 kV

highest system voltage (kV)	rated lightning impulse withstand	power frequency withstand
72.5	325	140
123	450	185
	550	230
245	750	325
	850	360

950	395
1050	460

standard insulation levels สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบที่มีแรงดันสูงกว่า 300 kV

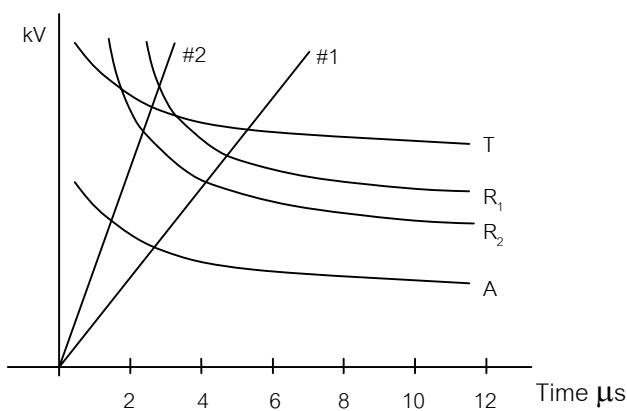
highest system voltage (kV)	300	950	1050	1425	1550	750	850	1050	1175
						rated lightning impulse withstand	rated lightning impulse withstand	rated switching impulse withstand	rated switching impulse withstand

4. protective device

อุปกรณ์ protective device จะใช้ต่อขนานกับอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน และจะได้รับ stress เท่ากันกับอุปกรณ์ แต่จะออกแบบให้ breakdown ก่อนฉนวนที่ป้องกัน จึงลด stress ที่ฉนวนได้ขณะที่มี surge เข้ามา ตัวอย่างอุปกรณ์นี้ คือ rod gaps และ surge arrester

4.1 หลักการทำงาน

สามารถอธิบายลักษณะฉนวนได้ด้วย volt-time curve คือ peak voltage ที่ทำให้เกิดฉนวนเกิด breakdown กับ เวลา ค่าที่ได้เมื่อนำมา plot จะได้เป็นแถบ (band) เส้นขอบด้านล่างของแถบคือ ค่าที่ฉนวนทนได้ withstand voltage-time curve การใช้อุปกรณ์ป้องกันจะมี volt-time curve ที่ต่ำกว่าเส้นนี้ เช่นรูปที่ 1. แสดง volt-time ของ rod gap ขนาด 'X' ป้องกันฉนวนของหม้อแปลง สามารถป้องกันฉนวนได้ขณะที่มี surge ที่มีความชัน #1 และไม่สามารถป้องกันได้ขณะที่มี surge ที่มีความชัน #2 ที่สูงกว่า #1 surge arrester ที่มี volt-time : A ที่สามารถป้องกันหม้อแปลงที่มีลักษณะ volt-time T ได้ตลอดทุกช่วงเวลาของ surge



รูปที่ 1. แสดง volt-time ของ:
 R1 (rod gap ขนาด X) ,
 R2 (rod gap ขนาด X-x),
 T (transformer) ,
 A (surge arrester), R (rod gap)

4.2 คุณลักษณะของอุปกรณ์ป้องกัน

- (1) ต้องไม่ทำงานขณะเกิด temporary over voltage เนื่องจากเกิด ground fault

- (2) volt-time curve ต้องอยู่ต่ำกว่า withstand level ของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันทุกช่วงเวลา
- (3) ต้องสามารถให้พลังงานของ surge ไหลผ่านได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือเกิดความเสียหาย
- (4) หลังจากพลังงานของ surge ไหลผ่านไปแล้วจะต้องกลับมาสู่สภาพปกติ (reseal) หรือ ไม่เป็นตัวนำ (non-conducting) ในขณะที่เกิด over voltage

4.3 rod gap

rod gap เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ยุ่งยาก ราคาถูก ใช้ electrode สองแท่งต่อเข้ากับ line ใกล้เคียง อุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันมากที่สุด และ ที่ ground grid ของสถานี ข้อเสียของ rod gap คือ ไม่สามารถทำตามข้อ (4) คือ reseal ได้ และขณะที่ทำงานจะทำให้เกิด chopped wave ขึ้น

การใช้ rod gap หรือ arcing horn ส่วนใหญ่จะใช้ในระบบที่มีแรงดันต่ำกว่า 36 kV แต่เนื่องจากมีระยะห่างระหว่าง electrode สั้นมากจึงมีปัญหาเรื่องสัตว์ เช่น นก ทำให้เกิด breakdown การจ่ายไฟจะหยุดชะงัก และมักทำให้อุปกรณ์ใกล้เคียงเสียหายไปด้วย

ในระดับแรงดันสูงจะไม่นิยมใช้เพราะปัญหาเรื่อง reseal และ rod gap ไม่ค่อยเหมาะกับ steep fronted wave และ switching over voltage ที่ไม่สูงมากนักเช่นในรูปที่ 1. Rod gap ที่มีระยะห่าง X จะไม่สามารถป้องกัน surge ที่มีความชันสูง #2 ได้ แต่ถ้าความชันต่ำลงเป็น #1 จะไม่มีปัญหา ในขณะที่เดียวกันถ้าเลือกระยะห่าง X-x จะสามารถทำงานได้ดีในขณะที่ surge มีความชัน แต่ gap ที่สั้นลงจะทนแรงดัน 50 Hz ได้ต่ำขณะที่เกิด over voltage จนอาจเกิดปัญหาขณะใช้งานได้

การใช้ rod gap ที่แรงดันสูงจึงต้องลดความชันของคลื่น เช่นมี overhead ground wire คลุมที่สายส่ง และ ใน switch yard สถานี มีการใช้ rod gap หรือ arcing horn ในสายส่ง (transmission line) เพื่อป้องกันไม่ให้ insulator เกิดเสียหาย และติดตั้งในสายส่ง วงจรคู่ (double circuit) เพียงหนึ่งวงจรเพื่อให้เกิด line outage เพียงวงจรเดียวด้วย back flashover: (คือการ flashover จากเสาของสายส่ง tower ไปสู่ line ในขณะที่ประจุจากฟ้าผ่าไหลลงดินทางเสา เพราะ เสาเกิดแรงดันสูงเนื่องมาจาก footing resistance)

ขณะที่ rod gap หรือ arcing horn ที่ bushing หม้อแปลงเกิด breakdown จะเกิด chopped wave ซึ่งเป็นอันตรายกับฉนวนหม้อแปลงมาก

surge arrester

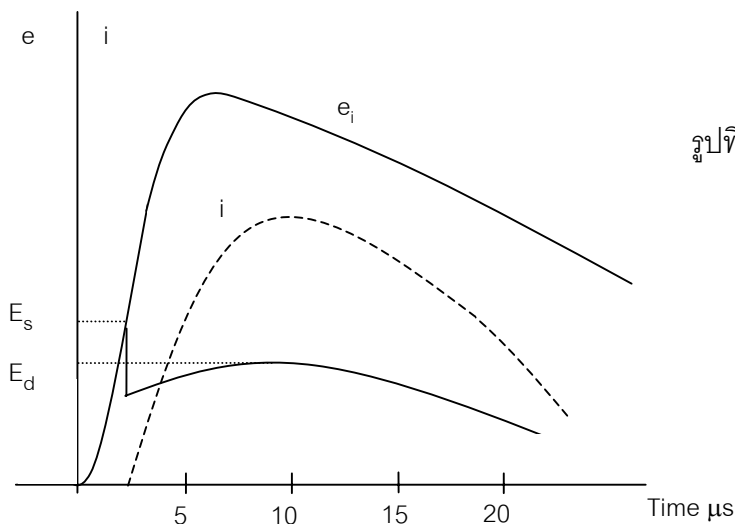
ในปัจจุบันมีอยู่สองชนิด คือ ชนิดมี spark gap และไม่มี spark gap (gapless)

4.3.1 surge arrester ชนิดมี spark gap

อุปกรณ์นี้ประกอบด้วย spark gaps หลายชิ้นต่ออนุกรมกันกับ non-linear resistor หลาย block บรรจุอยู่ใน housing ที่เป็นฉนวน เช่น porcelain, polymer เป็นต้น ส่วนที่เป็น gaps ทำหน้าที่เหมือน switch ตัดต่อ คือ ต่อขณะที่ surge เข้ามาทำให้ไหลลงดิน (discharge) และ ตัดหลังจากที่ surge ผ่านลงดินหมดแล้ว resistor ทำหน้าที่ จำกัดปริมาณกระแส power frequency ที่ไหลตามลงดิน (follow current) ให้มีค่าต่ำในระดับที่ gap สามารถดับกระแสนั้นได้

non-linear resistor สามารถจำกัดแรงดันคร่อม arrester ให้ต่ำ ในขณะที่มี surge ไหลผ่าน และจำกัดกระแส follow current จากระบบ หลังจาก discharge แล้ว arrester ต้อง reseal ได้โดยการที่ resistor จะมีสภาพไม่เป็นตัวนำขณะที่คลื่นของกระแสใน sinusoidal wave เป็นศูนย์ (non conducting)

การกำหนด rating ของ arrester ด้วย maximum power frequency เป็น rms voltage ที่ arrester สามารถ reseal ได้ ฉะนั้นต้องออกแบบ spark gaps และ non linear resistor ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของ arrester ที่ต้องการ



รูปที่ 2. แสดงการทำงานของ surge arrester

จากรูปที่ 2. ขณะที่ surge ขนาด e_i วิ่งมาที่ arrester แรงดันจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ front of wave spark over voltage มีค่า E_s จังหวะนั้น spark gap จะ break down ทำให้วงจรต่อ non-linear resistor เข้า มีกระแส i ไหลผ่าน gaps และ resistor blocks และ แรงดัน surge ก็ จะลดลงตาม impedance ของ resistor blocks กระแสจะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุด (peak) ในเวลา ที่แรงดันที่วิ่งเข้ามามีค่าเป็น peak แรงดันคร่อม arrester: e_d คือ แรงดันคร่อม arc รวมกับแรงดันคร่อม non linear resistor blocks ซึ่งมีค่าสัมพันธ์กับกระแส และ ระยะเวลาที่กระแสไหล แรงดันสูงสุดหลัง front of wave spark over voltage ' E_d ' คือ ค่า discharge หรือ residual voltage หลังจาก surge ผ่าน arrester ลงดินแล้ว gaps และ arrester จะยังคงมี follow current ไหล มีขนาดประมาณ 100-300 A จนกว่า gaps จะ reseal ได้

4.3.2 ค่า rated ของ surge arrester

rated voltage ของ arrester คือ ค่า rms สูงสุดที่ arrester สามารถ reseal ได้หลังจาก discharge ประจุ หรือพลังงานของ surge แล้ว

rated continuous working voltage คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ arrester สามารถทนได้โดยที่ gap ไม่ทำงาน ค่านี้อาจต่างจาก rated voltage ของ arrester ค่านี้จะกำหนดโดยค่าของ resistor block ที่ใช้เป็นส่วประกอบ

rated current จะมีค่า 2.5, 5, และ 10 kA มีรูปร่างเป็น 8/20 μ s

protective level ของ surge arrester ขึ้นกับ

- maximum 1.2/50 μ s impulse spark over voltage
- front of wave และ
- discharge voltage ที่เกิดจาก maximum current ซึ่งมีค่าแรงดัน $L \cdot di/dt$ ที่คร่อมสายที่ใช้ต่อ arrester ทั้งด้าน line และ ground (L ของสาย $\approx 1.2 \mu$ H/meter)

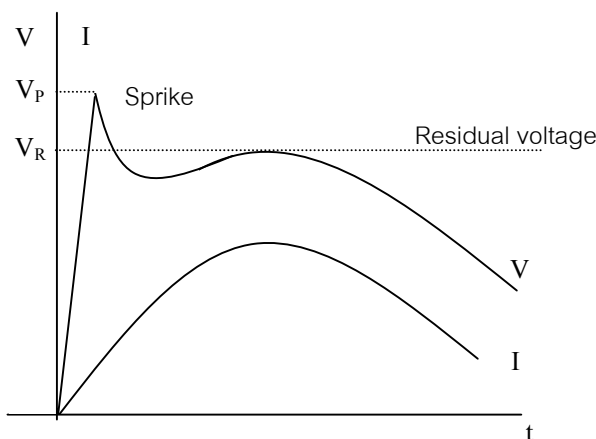
4.3.3 gapless arrester

ในอดีตใช้ SiC (silicon carbide) เป็น non linear resistor เมื่อ semiconductor technology ก้าวหน้าขึ้นสามารถผลิตสารที่มีคุณลักษณะของ I-V ที่สามารถใช้โดยไม่ต้องมี gap ค่ากระแสที่ leak ลงดินจะอยู่ในระดับ 1 mA และ สามารถ discharge กระแสได้ถึง 20 kA มี residual voltage ต่ำลงกว่า gap type arrester

ไม่มีปัญหาเรื่อง front of wave spark over ใน gapless arrester

- rated voltage ของ gapless arrester เหมือนกับชนิด gap type
- rated continuous operating voltage จะเกี่ยวข้องกับ thermal stability ของ resistor แม้ในช่วงแรกจะมีแรงดันเป็นรูป spike ที่มีค่าสูงขึ้นจาก normal residual voltage แต่การออกแบบ insulation coordination จะใช้ค่า V_r เป็นค่า protective level

รูปที่ 3. แสดง volt-time ของ gapless arrester



4.6 ระยะห่างของอุปกรณ์ (separation effect)

arrester จะควบคุมแรงดันตรงจุดที่ติดตั้ง จึงควรต้องติดตั้งให้ใกล้อุปกรณ์ที่จะป้องกันให้มากที่สุด

กรณีที่ surge มีความชันของคลื่นสั้นมาก จะทำให้แรงดันในสถานีมีค่าสูงกว่า protective level ของ arrester เรียกว่า separation effect มีผลจากสถานที่ติดตั้งของอุปกรณ์อื่นๆ มีระยะห่างจาก arrester

ตัวอย่างการคำนวณ separation effect

- ถ้าสมมติว่า surge เป็นชนิดที่แรงดันเพิ่มขึ้นถึง peak แล้วรักษาระดับคงที่ต่อไป (long ramp function)
- มีความชันที่เพิ่มขึ้นจาก ศูนย์ถึง peak (front steepness) : $K \text{ kV}/\mu\text{s}$
- เคลื่อนที่ความเร็วเท่าแสง: $v \text{ m}/\mu\text{s}$ มาถึงตำแหน่ง arrester ที่เวลา $t = 0$
- arrester ทำงานที่เวลา $t = T_0 \mu\text{s}$
- หลังจาก arrester ทำงานจะมีแรงดันเหลือเท่ากับ E_p

กรณีที่ 1.

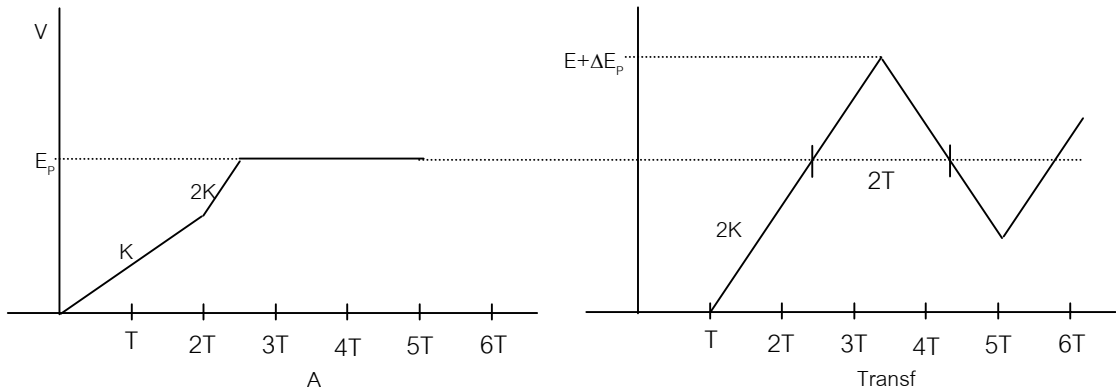
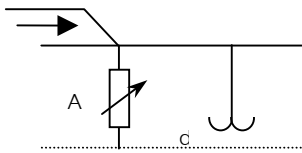
- หม้อแปลงต่อที่ปลายสายส่งห่างจาก arrester : d เมตร
- ที่หม้อแปลงเหมือนกับ open circuit เพราะ inductance สูงมาก ทำให้มีคลื่นสะท้อนกลับ (reflected wave)
- ที่ตำแหน่ง arrester จะ open หมายถึง มีแต่ line ต่อเข้า arrester ไปที่หม้อแปลงเท่านั้น ไม่มี line ที่ต่อเข้า
- เมื่อถึงเวลา T_0 ที่แรงดันที่ arrester เท่ากับ E_p
- เมื่อ arrester ทำงานจะเหมือนเกิด short circuit ขึ้น
- ถ้าเวลาที่ surge เคลื่อนที่จาก arrester ถึงหม้อแปลงเท่ากับ T

ถ้า $T_0 \geq 2T$ แรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงเท่ากับ $E_p + 2KT$

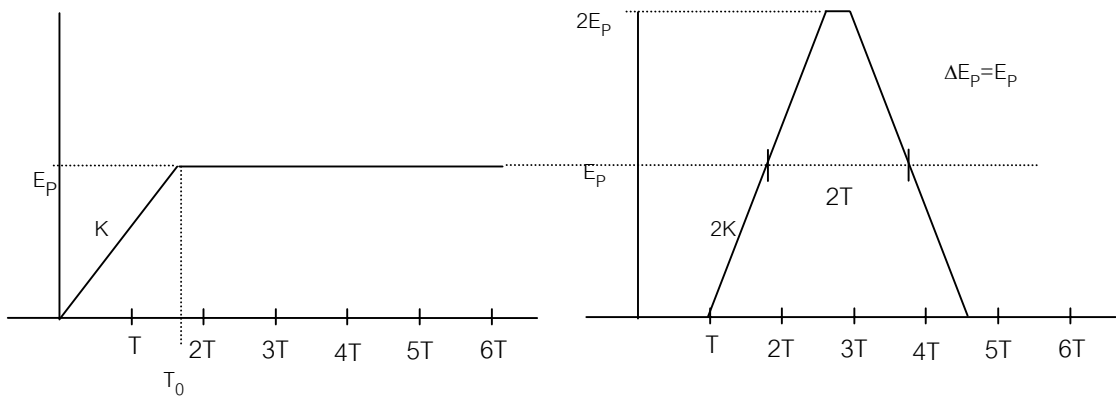
ถ้า $T_0 < 2T$ แรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงเท่ากับ $2.E_p$

$$E_T = E_p + 2KT$$

$$E_T = E_p + 2K \cdot d/v$$



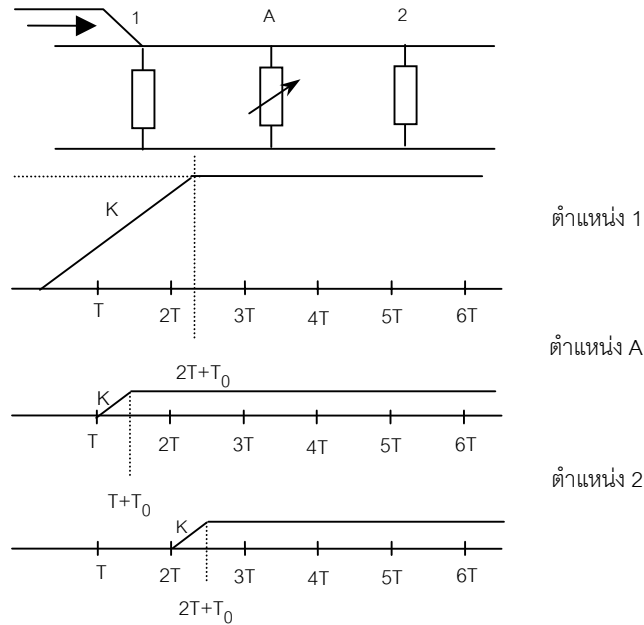
รูปที่ 4. แสดงกรณีที่ 1. $T_0 \geq 2T$



รูปที่ 5. แสดงกรณีที่ 1. $T_0 < 2T$

กรณีที่ 2

- มีอุปกรณ์ต่ออยู่ที่ line ทั้งด้านหน้าก่อนเข้า และ ต่อหลัง arrester ระยะห่างจาก arrester : ' d ' ทั้งสองด้าน
- มี surge เข้ามาที่สถานีเหมือน กรณีที่ 1
- arrester ทำงานที่ $T + T_0$ สร้าง wave ที่มีทิศทางตรงข้าม (negative wave) ไปทั้งสองด้าน ซ้าย และขวาด้วยความชัน K
- แรงแดันสูงสุดที่อุปกรณ์ ด้าน surge วิ่งเข้ามาเทียบกับ arrester คือ $E_L = E_p + 2KT$
- ขณะทางด้านออกจาก arrester คือ E_p ซึ่งจะมีการสะท้อน (reflection) ที่หม้อแปลง



รูปที่ 6. แสดงกรณีอุปกรณ์ต่อทั้งสองด้าน

ในการออกแบบสถานีจะต้องคำนึงถึงทั้งสองกรณีรวมกัน

4.7 shielding

shielding โดยใช้ overhead ground wire ซึ่งคลุมสายส่งที่ต่อเข้าสถานี และในสถานี และ ใช้เสาหล่อฟ้า (ground mast) ติดตั้งที่โครงเหล็ก (steel structure) เป็นการสร้างบริเวณที่ฟ้าผ่าไม่ถึง (lightning proof zone) บริเวณที่ป้องกันนี้เป็นการป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่าลงมาตรงที่สายส่งหรืออุปกรณ์ ค่าความต้านทานดินในสถานี และ บริเวณเสาสายส่ง ต้องมีค่าต่ำเพื่อป้องกันมิให้เกิด back flashover ถ้า shield ได้สมบูรณ์จะมีเฉพาะ surge ที่ไม่รุนแรง (attenuate) ทั้งเรื่องขนาดของแรงดันสูง และ ความชัน

4.8 การพิจารณาออกแบบ insulation level

การพิจารณา insulation coordination ในสถานี

- หาค่า over voltage ที่อาจเกิดขึ้นจากระบบ
- ถ้ามีค่าสูง จำเป็นต้องทำให้ลดลงด้วย protective device
- กำหนดค่า safety margin ระหว่าง maximum stresses กับ insulation level ของอุปกรณ์
- เลือกค่า standard insulation level ให้อุปกรณ์ต่างๆ

ตัวอย่าง

- (1) ออกแบบ shield ในสถานีเพื่อป้องกัน lightning stroke

- ซึ่ง overhead ground wire และ ติดตั้งเสาหล่อฟ้าที่ steel structure
- สายส่งที่ต่อเข้าสถานีควรมี lightning proof zone คือ ให้ซึ่ง overhead ground wire ตลอดแนวอย่างน้อย 1 กิโลเมตรห่างออกไป ในประเทศไทยเกิดฟ้าผ่าบ่อย ในสายส่งแรงสูง (≥ 115 kV) ควรออกแบบให้ซึ่งตลอดความยาวสายส่ง
- ตรวจสอบ line insulator ให้มีค่า maximum impulse voltage : E_m ที่วิ่งผ่านเข้ามาถึงสถานีมีค่าเท่ากับ 1.2 เท่าของ CFO (critical flashover voltage) ขั้วบวก
- ความชันของ surge E_m มีค่า K : สามารถคำนวณหาได้

ทั่วไปจะใช้ 500 kV/ μ s

ถ้าต้องการความมั่นใจมากๆ จะใช้ 1000 kV/ μ s

(2) เลือก surge arrester rating และ ค่า protective level

- หาค่า maximum power frequency : คือค่า line to ground voltage จากกรณีเกิด ground fault : E_f

- เลือก voltage rating ของ arrester ให้ใกล้ค่า E_f แต่ให้มีความสูงกว่า

- เลือกค่ากระแสของ arrester ส่วนใหญ่จะเลือกค่า 5 kA กรณีใช้ในระบบจำหน่าย (distribution system) และ 10 kA ใช้ในสถานีระบบส่ง (station)

- หาค่า discharge level มีค่าเท่ากับ discharge voltage รวมกับ inductive-lead drop ค่า rate of rise ของ surge current ให้ใช้ค่า max. current : 10 kA และ front time of 8/20 μ s wave ค่า $L=1.2$ μ H/m

- พิจารณา protective level

กรณีใช้ gap type arrester

- front of wave spark over คูณ ด้วย 0.87 (ลดลงจาก 1 เนื่องจากอาจมี spike ก่อน spark over)

- ค่า 1.2/50 impulse spark over

- effective discharge voltage

กรณีใช้ gapless type arrester

- effective discharge voltage

(3) เลือกค่า transformer insulation level : BIL

- เลือกค่า BIL ให้สูงกว่าค่า E_p เพื่อให้มั่นใจว่ามี safety margin

(4) พิจารณา protective zone ของ arrester ด้านหม้อแปลง

- การคำนวณให้ใช้กรณีมี หนึ่งสายส่ง-หนึ่งหม้อแปลง ที่ถือว่าเป็นกรณีที่ worst ที่สุด

- แรงแฉกที่เพิ่มขึ้นที่หม้อแปลงสูงกว่า E_p เท่ากับ $2KT$
- separation : $d = T \cdot v = v \cdot [(BIL-margin) - E_p] / 2K$
- วางตำแหน่ง arrester ให้มีระยะห่างจากหม้อแปลงไม่เกินระยะ d เมตร
อุปกรณ์ทุกอย่างที่ตั้งระหว่างหม้อแปลงกับ arrester ต้องมี BIL เท่ากับ หม้อแปลง
- (5) เลือก BIL ของอุปกรณ์อื่นๆ ที่ตั้งอยู่ด้าน line side ของ arrester
- ให้ใช้ หนึ่งสายส่ง-หนึ่งหม้อแปลง เพื่อหาค่าแรงแฉกที่อุปกรณ์ที่สูงกว่า E_p มากที่สุด
โดยใช้จุดที่ สายส่งต่อเข้าสถานี : $E_{equipment} = E_m = E_p + 2K \cdot d / v$
- เลือก BIL ของทุกอุปกรณ์ให้เท่ากันซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องเท่ากับหม้อแปลง
- พิจารณาว่าจำเป็นต้องติดตั้ง arrester เพิ่มที่จุดอื่นหรือไม่
- (6) switching surge
 - ตรวจสอบคุณสมบัติของ arrester เรื่อง switching surge spark over (กรณี gap type)
 - ตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่เลือก BIL ไว้
หม้อแปลง : $SIL=0.83 BIL$, breaker : $SIL=0.65 BIL$
กรณี switching surge จะไม่ค่อยมีผลจาก separation effect
- (7) พิจารณาเรื่องระยะห่าง minimum air clearance
 - พิจารณาระยะ minimum phase to ground จากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณเรื่อง surge และ ตรวจสอบให้มี switching surge strength ที่เหมาะสม
 - พิจารณาระยะ minimum phase to phase โดยสมมติว่ามี surge ที่ phase เดียว ขณะที่ phase ที่อยู่ใกล้มีค่า peak power frequency voltage
 - พิจารณา impulse strength ของ disconnecting switch ขณะอยู่ตำแหน่ง open

4.9 safety margin

จากการคำนวณเห็นว่า การเลือก insulation level จะขึ้นกับ safety margin อย่างมาก การใช้ค่า margin ระหว่าง maximum stress กับ insulation level ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ถ้าเป็นการคำนวณอย่างง่าย ๆ อาจใช้ค่า 20-30% E_p ไม่ควรใช้ค่า margin ที่ต่ำเกินไป เพราะหม้อแปลงที่ใช้มานานๆ ฉนวนของหม้อแปลง และ arrester เองจะเสื่อมสภาพ และภายนอกอุปกรณ์อาจมีความสกปรก (polluted)

บางหน่วยงานได้กำหนดค่า insulation level ไว้เป็นมาตรฐานเพื่อออกแบบอุปกรณ์ที่ระดับแรงดันระบบต่างๆ เช่น

standard insulation levels สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบที่มีแรงดัน

	system voltage	rated lightning impulse	power	frequency
(kV)		withstand	withstand	
	22	150	50	
	33	200	70	
	115	550	230	
	230	900	460	

ต้องตรวจสอบเรื่อง separation effect ด้วยเพราะบางสถานีมีอุปกรณ์มากทำให้ต้องมีอุปกรณ์ที่ติดตั้งห่างกันมาก