

High Voltage Switchgear

Contents

1. Air Insulated (AIS) and Insulated Switchgear (GIS)

1.1 General

2. Switchgear Components

2.1 CB

2.2 Disconnecter

2.3 Earth Switch

2.4 Surge Arrester

2.5 CT , VT

2.6 Line Traps

3. AIS

3.1 Busbar Arrangements

3.2 Design Considerations

3.3 Bus Design

3.4 Safety Clearances

3.5 Air Pollution

3.6 Earth Grid

4. GIS

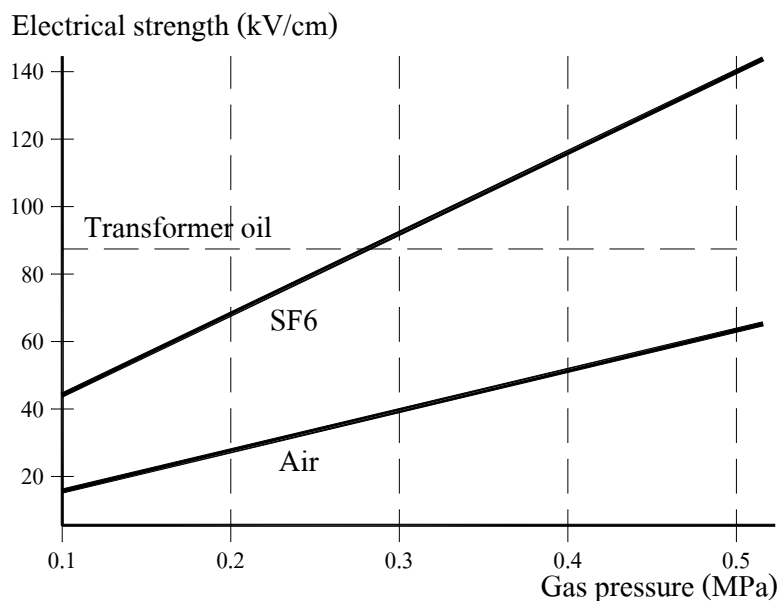
4.1 72 kV GIS Concept

4.2 145 kV GIS Concept

1. Air Insulated (AIS) and Insulated Switchgear (GIS)

1.1 ทั่วไป

- Air Insulated Switchgear (AIS) มีการใช้มานานแล้ว และขณะนี้ยังมีการใช้มากอยู่
- AIS ต้องการ Large Distance ระหว่าง Phase และ Earth
∴ สำหรับ Higher Voltage ต้องเป็นแบบนอกอาคาร (Outdoor)
- ประเทศเยอรมันนีและญี่ปุ่นได้นำก๊าซ SF₆ มาใช้เป็น Insulating Medium ใน Switchgear Enclosures ตั้งแต่ปี 1970 s
- ถ้าใช้ SF₆ ที่ความดัน 500 kPa คุณสมบัติทางการฉนวนดีขึ้นมาก และสามารถพื้นที่ได้อย่างมาก
- Gas Insulated Switchgear (GIS) ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน
- ข้อดีของ GIS คือ
 - ต้องการพื้นที่น้อยลง
 - Pollution ไม่ทำให้เกิดปัญหา
 - ความปลอดภัยต่อบุคลากรมากขึ้น
- AIS โดยทั่วไปเป็นแบบ Outdoor โดยมีการติดตั้ง Switchgear แบบตั้งพื้นโดยอิสระ (Free-standing) และต่อเข้าด้วยกันโดยใช้สายไฟฟ้า หรือ Bus แบบท่อ
- ข้อดีของ AIS คือ
 - แก้ไขการต่อทำได้สะดวก
 - เพิ่มอุปกรณ์เข้าได้ง่าย
- ค่าอุปกรณ์ของ AIS จะถูกกว่าแบบ GIS มาก แต่ถ้าคิดค่าที่ดินด้วย ราคาความแตกต่างจะน้อยลง



รูปที่ 1 Comparison of dielectric strengths

2. Switchgear Components

- HV Equipment จะต้องมื Breaking Capacity มากกว่าค่า Short-circuit Current ที่คำนวณได้จุดติดตั้ง
- และต้องทนกระแสลัดวงจรเป็นเวลา (Time) ที่ Back Up Protection จะตัดกระแส Fault ออกจากระบบ

2.1 Circuit Breaker

- เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของ Switchgear
- CBs ต้องสามารถ Break and Make กระแสพิกัดได้ และต้องสามารถ Break กระแสลัดวงจรได้
- CBs สมัยใหม่มี Interrupting Time สั้นมาก แค่ 20 ms เท่านั้น
- อุปกรณ์หลักของ CBs คือ
 - Interrupting Chamber
 - Mechanical Operating Mechanism
- พลังงานของ Mechanism Operating Mechanism จะเก็บไว้ใน Charged Spring และแรงจากสปริงจะทำการแยกหน้าสัมผัส (Fixed Contact และ Moving Contact) ออกจากกันเมื่อได้สัญญาณจาก Protective Relays

2.2 Disconnecter

- Disconnecter ใช้เพื่อ Switch ที่ No Load เพื่อให้ CB ไม่มีไฟ (Dead) สำหรับการบำรุงรักษา
- มี Very Low Breaking Capacity
- Main Purpose ของ Disconnecter คือ เพื่อเปิดวงจรทั้ง 2 ด้านของอุปกรณ์ก่อนจะทำงาน

2.3 Earth Switch

- Earth Switch เป็น Disconnecter ชนิดพิเศษ เพื่อต่อส่วนของ Switchgear ลงดิน และใช้ต่ออุปกรณ์ที่มีไฟ เช่น Lines หรือ Cables ลงดินก่อนทำงาน
- การต่อลงดินของ AIS ทำได้โดย Manual Earthing Hooks หรือ Portable Earthing and Short-circuiting Devices
- ใน GIS ซึ่งไม่สามารถเข้าถึง Phase Conductor ภายใต้นได้ จึงต้องมี Earth Switch ติดถาวร

2.4 Surge Arrester

- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกัน Switchgear จาก High Overvoltage ที่เกิดจาก Lightning หรือ Switching Surge
- ทำงานโดยการทำให้ยอดของ Incoming Voltage Wave ลดลง และ Divert พลังงานเป็นกระแสลงดิน
- เมื่อแรงดันกลับเป็นค่าปกติ , กระแสจะลดลงเป็นศูนย์
- Surge Arresters ที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้
Low Ignition Voltage และ High Extinction Voltage
∴ จะให้ Non-linear Function ระหว่าง V และ I
- รุ่นเก่าจะประกอบด้วย Silicon Carbide Resistors ต่ออนุกรมกับ Spark Gap (Valve Tape)
- รุ่นใหม่ไม่มี Spark Gap เป็น Zinc-oxide Arresters ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี คือ ให้ Low Voltage ระหว่าง Dissipation ซึ่งจะกำจัด Reignition Transients และมี High Capacity ในการนำพลังงานลงดิน

2.5 Current and Voltage Transformers

- Instrument Transformers จะให้ Signals สำหรับ Metering และ Protective Relaying

- CT ทำงานขณะ Short-circuit
- VT ทำงานขณะ Open-circuit
- CT ที่ใช้ในงาน Protection จะต้องสามารถทน Peak Short-circuit Current และเวลาที่จะใช้สำหรับ Back-up Relays ทำงาน
- Protection CT จะต้องไม่ Saturate สำหรับกระแสสูงๆ ซึ่งอาจทำให้ทำงานผิดพลาดได้
- VT อาจเป็นแบบ 2 แบบ คือ Inductive VT และ Capacitive VT
- Inductive VT ใช้กับแรงดันถึงประมาณ 145 kV
- Capacitive VT ใช้กับแรงดันสูงกว่านี้

2.6 Line Traps

- Line Traps ติดตั้งในระบบไฟฟ้า ซึ่งมี Power Line Carrier
- มันใช้เป็น Barrier เพื่อป้องกัน High Frequency เข้าใน Substation

3. Air Insulated Switchgear (AIS)

3.1 Busbar Arrangements

การจัด Busbar ใน Substation อาจจัดหลายแบบตามความต้องการด้าน Reliability

Direct Connection

- ไม่มี Busbar
- เป็นแบบที่ง่ายที่สุดสำหรับ Small Transformer Substation
- เมื่อมี Fault เกิดขึ้น ทั้ง Station จะต้อง Shut Down

Single Busbar

- Arrangement แบบนี้นิยมใช้กันมาก
- ราคาต่ำติดตั้งถูก

Single Bus With Transfer Bus

- Transfer Busbar ใช้เป็น Auxiliary Busbar เมื่อต้องการทำ Maintenance
- CBs สามารถ Disconnect ทั้ง 2 ด้าน ขณะที่ Line ยังใช้งานอยู่

Double Busbar

- ระบบนี้มี 2 Identical Buses
Busbar ชุดหนึ่งใช้งานอีกชุดหนึ่งเป็น Standby
- สามารถรับรองจะมี Uninterrupted Service เมื่อเกิด Bus Faults

3.2 Design Considerations for Civil Works

- งานส่วนใหญ่ของการออกแบบสำหรับ Outdoor Switchgear คือ ทางด้านโยธาและโครงสร้าง
- การปรับพื้น , หาขนาดฐานราก , การวาง Cable Ducts ฯลฯ ต้องการการออกแบบทางด้านโยธา
- นอกจากนี้ยังต้องการแบบสำหรับงานเหล็ก (Steel Work) และ Hardware และการ Layout พร้อมทั้ง Material Lists , Purchase Orders , Cable Schedules
- ในการออกแบบ Steel Structures และ Foundations จะจำเป็นต้องทราบแรงสูงสุด (Maximum Force) ที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง
- Mechanical Forces ที่กระทำต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ และ Support Structures มีดังนี้
 - น้ำหนักของ Conductor
 - แรงลม (Wind Load)
 - แรงจากกระแสลัดวงจร (Short-circuit Loading)
 - การทำงาน (Mechanical Operation)
 - แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Earthquake)

3.3 Bus Design

- การออกแบบ Bus มี Factors สำคัญที่ต้องพิจารณาคือ
 - กระแสไหลสูงสุด
 - Max Withstand Impulse Voltage
 - Mechanical Strength เพื่อให้สามารถทน Dynamic Forces ได้
 - Atmospheric Contamination
- Bus Arrangement มี 2 แบบ คือ
 - 1) Flexible Stranded Conductors (Strain Bus)
 - 2) Tubular Busbar
- สำหรับกระแสต่ำๆ การใช้ Strain Bus ซึ่งมีน้ำหนักน้อยอาจเป็น Economical Design
- และสำหรับ Load สูงๆ และ Dynamic Stresses กับ Bus มากขึ้น และต้องการแบบ Low-profile การใช้ Supported Tubular Bus จะเหมาะกว่า Heavy Stranded Bundle Conductors

- Bus ส่วนมากทำด้วย Aluminum Conductor และ Bolted Connectors
- การใช้ Tubular Sections เนื่องจากราคาถูก
- Long Tubular Spans อาจ Subject to Vibration วิธีแก้วิธีหนึ่งใส่ Aluminum Cable ภายใน Tubes เพื่อ Damp ความสั่นดังกล่าว
- ที่ Vary High Voltage อาจต้องใช้ Corona Rings เพื่อลด Electric Stress
- Busbar Insulators จะต้องเลือกอย่างระมัดระวัง เพื่อให้ได้ตามความต้องการด้านไฟฟ้า เช่น
 - Insulation Level
 - Pollution Corona
 - Coefficients for Temperature and Altitude

ความต้องการด้าน Mechanical

- ความทนต่อแรงเนื่องจาก Short-circuit
- Seismic and Wind Forces
- Normal and Composite Loads

3.4 Safety Clearances

- การเลือก Electrical Clearances เน้นเรื่องสำคัญมากใน AIS Design
- เพื่อให้ได้ Reliability และ Safety for Personnel จำเป็นต้องมี Clearance อย่างเพียงพอสำหรับ Live Parts
- มี 2 Aspects สำหรับ Clearance
 - 1) Insulation Clearance
 - 2) Personnel Safety Clearances
- Common Practice สำหรับแรงดันถึง 300 kV จะใช้ Standard Minimum Clearance ใน Air เท่ากัน สำหรับ Phase to Phase และ Phase to Earth
- Personnel Safety Clearances ทำได้โดยใช้ Non-flashover Insulation Clearance

3.5 Air Pollution

- ในขณะนี้ Air Pollution ใน Switchyards เป็นปัญหามากขึ้น
- การเปื้อน (Contamination) มี 2 ชนิด คือ
 - 1) จากชายฝั่งทะเล (Coastal)
 - 2) จากอุตสาหกรรม (Industrial)

- ลูกถ้วยที่อากาศแห้งและสะอาด (Dry-clean) จะให้ Highest Voltage Withstand สำหรับการติดตั้งนอกอาคาร
- Clean Insulator ในอากาศที่มีหมอก (Fog) จะ Lower Withstand Value
- ที่ Dirty-wet Combination จะให้ค่าต่ำสุด และจะเป็นปัญหาอย่างมากกับ Power System
- Pollution Problem เป็นเรื่องที่มีอิทธิพลจากหลายอย่าง
 - ลม
 - แรงดึงดูดของโลก
 - แรงจากสนามไฟฟ้า
 - การจับเกาะ
 - รูปร่างของ Insulator
 - ตำแหน่ง
 - นอกจากนี้ฝนก็อาจจะล้าง Pollution ที่จับบนลูกถ้วยออกได้
- Industrial Pollution Flashover เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ เริ่มจากเกลือละลายก่อนแล้วจับเกาะบน Insulator ทำให้เกิดเป็น Dry Band Formation ซึ่งทำให้ Flashover ได้
- Flashover จาก Coastal Salt Pollution จะเกิดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกลือได้ละลายและจับเกาะบนผิว และจะกลายเป็นตัวนำ
- การป้องกัน Pollution ทำได้ดังนี้
 - 1) เพิ่ม Creepage Distance
 - 2) ล้าง Insulators
 - 3) ทา Silicon Grease บน Insulators

3.6 Earth Grid and Safety Earthing

- จุดประสงค์ของ Earth Grid คือให้มี Low Resistance Path to Earth เพื่อสามารถกระจายกระแสสูง ซึ่งเกิดจาก Faults หรือ Lightning Surges
- Low Resistance จะทำให้ Voltage ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ
- Earth Grid ประกอบด้วย Bare Copper Conductors ฝังต่ำจากผิวดินประมาณ 0.5 m
- เพื่อให้ Voltage Distribution สม่าเสมอ (Uniform) Grid ควรต้องวางเป็นแบบ Uniform Rectangular Meshes
- นอกจากนี้ต้องมี Earth Rods ซึ่งยาว 2-3 m ตอกเข้าดินและต่อเข้ากับ Earth Grid

- Earth ทำเพื่อลด Step Voltage และ Touch Voltage ให้อยู่ในค่าต่ำที่ปลอดภัยระหว่างเกิด Fault
- ค่า Earthing Resistance , Step Voltage และ Touch Voltage ขึ้นอยู่กับ Resistivity ของดิน
- การทำ Earth ทุกครั้งต้องวัดค่า Resistivity
- การทำการบำรุงรักษาใน Switchyard เพื่อความปลอดภัยจะต้องมี Maintenance Earthing เสมอ
- เพื่อความเชื่อถือได้ บางครั้งต้องติดตั้ง Earthing Switch อย่างถาวร
- อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปจะใช้ Portable Maintenance Earthing

4. Gas Insulated Switchgear (GIS)

- GIS ใช้ SF₆ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีในด้าน Insulation Medium , Arc Extinguishing Medium
- การออกแบบ GIS จึงทำให้เป็นแบบ Compact ใช้พื้นที่น้อย
- ก๊าซ SF₆ ไม่มีพิษ (Non-toxic) เมื่อมันรั่วเข้าบรรยากาศจะไม่มีผลต่อ Ozone Layer แต่ต้องมีการป้องกันการรั่วเข้าสู่บรรยากาศ
- การ Reuse หรือ Dispose ของ SF₆ ต้องทำโดยบริษัทผู้ผลิตหรือผู้ชำนาญการพิเศษ

4.1 A 72 kV GIS Cubicle Concept

- Cubicle แบบนี้ใช้ Differential Pressure เพียง 120 kPa ทำให้สามารถออกแบบให้ Enclosure มีรูปร่างคล้าย MV Metal-enclosed Switchgear ได้
- รูป Box Shape ทำให้สามารถใช้ Disconnecter และ Earthing Switch เหมือนใน MV ได้
- SF₆ แม้ที่มี Low Pressure สำหรับแรงดัน 72.5 kV จะขนาดโตกว่า 24 kV Air Insulated Cubicle เพียงเล็กน้อย
- จากรูป Cubicle แบ่งเป็น
 - 1) CB Compartment
 - 2) Feeder Equipment Compartment
 - 3) Busbar I Compartment
 - 4) Busbar II Compartment
- สำหรับ CB ที่ใช้มี 2 Quenching Systems
 - 1) Puffer Type
 - 2) Self-blast Type
- Feeder Compartment ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- Cable End Unit
- Feeder Disconnecter With Earthing Switch
- Instrument Transformers
- Separate Busbar Compartment มี Busbar และ Disconnecter
- Disconnecter จะมี Fast-acting Earthing Switch
- Busbars Fitted With Gas Barriers Between Feeder Sections
- Individual Compartments are Gas Tight and Segregated from Each Other
- Conductors Pass Through Gas Tight Cast Resin Barriers
- Ribs of U Profile Steel จะเชื่อมเข้าที่ผนัง เพื่อเสริมความแข็งแรง
- แต่ละ Compartment มี Pressure Relief Valve เพื่อลด Pressure เมื่อเกิด Internal Arc Fault
- Complete Feeder พร้อมด้วย Control Equipment รวมเป็น Rugged และ Free-standing Unit ซึ่งสามารถตั้งบน Concrete Foundation น้ำหนักรวมของ Double-busbar Feeder ประมาณ 3000 kg.

SF₆ Gas System

- แต่ละ Feeder แยกเป็น Independent Gas Segregated Enclosures
- Double-busbar Arrangement มี 4 Segregated Gas Compartment
 - 1) Busbar Compartment 1
 - 2) Busbar Compartment 2
 - 3) Circuit-breaker Compartment
 - 4) Feeder Terminating Compartment
- SF₆ ของแต่ละ Compartment จะรักษาความดันไว้ที่ 120 kPa
- การ Fill SF₆ ทำได้โดย Fil เหมือนของเหลว เนื่องจาก SF₆ หนักประมาณ 5 เท่า อากาศ
- การ Fill แบบนี้ทำให้มี Air ผสมกับ SF₆
- SF₆ / Air Mixture ถึง 20% ของ Air มี Higher Dielectric Strength กว่า Pure SF₆
- ถ้าความดันลดลงเหลือ 110 kPa จะมี Alarm
- สำหรับ CB Chamber ถ้าความดันลดจาก 700 เป็น 620 kPa จะมี Alarm และจะ Block CB ถ้าความดันลดลงเป็น 600 kPa

4.2 A 145 kV GIS Concept

- Design เป็น Corrosion-proof Aluminium Casing
- All 3 Phases จะ Enclosed ใน Enclosure เดียว ไม่เหมือนกัน ใน Higher Voltage ซึ่งมี 1 Phase ต่อ Enclosure
- เนื่องจากใช้ Aluminium ดังนั้นน้ำหนักจะเบา สำหรับ Double Busbar Feeder มีน้ำหนักเพียง 3700 kg
- Individual Equipment Modules ที่ต่อกันสามารถต่อขยายและดัดแปลงได้

SF₆ Gas System

- SF₆ Gas มี 2 หน้าที่ คือ
 - 1) เป็น Arc Extinction
 - 2) เป็น Insulating Medium
- The Circuit Current Extinguishing Chambers จะแยกจาก Insulating Gas Compartment ของ Busbar , Disconnectors , Load Break Switches
- Gas Compartments จะแยกจากกันด้วย Gas Barrier Insulators
- Gas Pressure จะต้องตรวจวัดด้วย Temperature Compensated Pressure Relays