เทคโนโลยีการส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อระบบพลังงานที่ยั่งยืน

HVDC Transmission Technology for Sustainable Energy Systems.

บุญชัด เนติศักดิ์
รองศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
โทรศัพท์ 081 2887483 E-mail : netisak_b@lpru.ac.th

บทคัดย่อ

การส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังโครงข่ายผู้ใช้งาน โดยทั่วไปใช้การส่งแบบ HVAC หรือแบบกระแสไฟสลับแรงดันสูง แต่ก็มีปัญหา มีข้อจำกัดและมีการสูญเสียในระบบสูง จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการส่งกำลังไฟฟ้าแบบ HVDC ซึ่งใช้การส่งด้วยกระแสตรงแรงดันสูงที่เอาชนะข้อจำกัดต่างๆ ได้เหนือกว่า HVAC สามารถนำระบบ HVDC มาใช้แก้ปัญหาการส่งพลังงานไฟฟ้าและการเชื่อมต่อ โดยเฉพาะใช้ส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเข้าโครงข่ายต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้โครงข่ายไฟฟ้า ที่มีประสิทธิภาพ มีความมั่นคง มีเสถียรภาพ และเป็นระบบพลังงานที่ยั่งยืน

คำสำคัญ : เทคโนโลยีการส่งกำลังไฟฟ้า กระแสตรงแรงดันสูง พลังงานที่ยั่งยืน

Abstract

Electric power is normally transmit to user power grids by HVAC transmission systems. This system has ability limited and high losses. From this case, HVDC transmission systems technology was developed to overcome HVAC. HVDC transmission systems can increase the transmission capacity and system stability very efficiently, especially linkage electric power from renewable energy source to other power grids for sustainable energy systems.

Keywords : HVDC, Transmission Technology, Sustainable Energy,

1. บทนำ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจำนวนมากจะผลิตจากพลังงานความร้อน เช่น ใช้พลังงานความร้อนจากถ่านหิน จากน้ำมัน จากแก๊ส หรือแม้แต่พลังงานนิวเคลียร์ ทรัพยากรพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานแบบที่ไม่ยั่งยืนจะค่อยๆ หมดไป และราคาจะแพงขึ้นเรื่อยๆ ต้นกำเนิดพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้านี้สามารถขุดค้น ซื้อขาย และเคลื่อนย้ายขนถ่ายได้ เช่น โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง สามารถขนส่งถ่านหินจากบ่อถ่านหินไปยังโรงไฟฟ้าโดยรถไฟและเรือ โรงไฟฟ้าที่ใช้แก๊สหรือน้ำมัน สามารถ

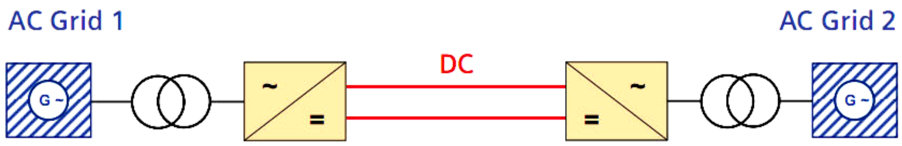
ขนส่งแก๊สไปตามท่อ น้ำมันและแก๊สเหลวสามารถขนส่งไปได้ทั่วโลกโดยการใส่ถังบรรทุกไปกับรถ รถไฟ และเรือ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าป้อนให้แหล่งชุมชน ที่อยู่อาศัยหรือแหล่งอุตสาหกรรม ที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งต้องมีการออกแบบกำหนดตำแหน่ง ที่ตั้งโรงไฟฟ้า และระยะทางการส่งพลังงานไว้ก่อนอย่างเหมาะสม และคุ้มค่าแล้ว จึงไม่เป็นปัญหา มากนักในเรื่องการจัดส่งกระแสไฟฟ้าไปยังผู้ใช้งาน

เมื่อทรัพยากรของโลกที่ใช้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าแบบไม่ยั่งยืน ถูกใช้งานไปจนอยู่ในภาวะวิกฤต ขาดแคลน ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นมาก จึงมีการแสวงหาพลังงานทางเลือกใหม่ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาทดแทน เพื่อการกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ยั่งยืน โดยใช้พลังงานสีเขียว พลังงานที่สะอาดจากธรรมชาติ เช่น การกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานน้ำตกบนภูเขา การกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมในทะเล การกำเนิดไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในพื้นที่บนทะเลทราย หรือแม้แต่การใช้พลังงานคลื่นน้ำเป็นต้นกำเนิดเพื่อผลิตไฟฟ้า แต่แหล่งกำเนิดพลังงานที่กล่าวมามักจะอยู่ห่างไกลผู้คน หรือไกลจากแหล่งใช้งาน แหล่งพลังงานเหล่านี้ไม่สามารถจะเคลื่อนย้ายได้ จำเป็นจะต้องสร้างโรงผลิตไฟฟ้า ณ บริเวณที่เหมาะสมที่เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานเท่านั้น แล้วส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปให้ผู้ใช้งานที่อยู่ห่างไกลออกไปอีกต่อหนึ่ง ในการส่งพลังงานไฟฟ้าในระยะทางไกลทำให้เกิดการสูญเสียในระบบการส่ง พลังงานไฟฟ้าที่ไปถึงปลายทางจะลดน้อยลงไป จึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงมารองรับ

ในการนำไฟฟ้ามาใช้งานนั้น เราต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบกระแสสลับ (AC) แรงดันต่ำระหว่าง 100 VAC – 250 VAC 50/60 Hz ขึ้นอยู่กับระบบไฟฟ้าของแต่ละท้องถิ่น แต่การส่งจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยังผู้ใช้งาน ไม่สามารถจะส่งด้วยแรงดันต่ำได้ เพราะจะสูญเสียไฟในสายส่งเหลือไปถึงผู้ใช้งานได้ต่ำว่าค่าแรงดันมาตรฐานที่ต้องการ จำเป็นต้องส่งด้วยระบบแรงดันสูงที่ต้นทาง ให้กระแสไฟฟ้าไหลไปตามสายส่ง เมื่อถึงปลายทางก็แปลงแรงดันให้ต่ำลงตามมาตรฐานแรงดันที่ต้องการเพื่อส่งให้กับผู้ใช้งาน มีระบบการส่งไฟฟ้า 2 แบบ คือ การส่งแบบกระแสสลับแรงดันสูง หรือ HVAC (high voltage AC) กับการส่งด้วยกระแสไฟตรงแรงดันสูง หรือ HVDC (high voltage DC) โดยทั่วไปนิยมใช้การส่งแบบกระแสสลับแรงดันสูง หรือ HVAC มากกว่า ส่วนการส่งด้วยกระแสไฟตรงแรงดันสูง หรือ HVDC นั้นการใช้งานยังอยู่ในวงจำกัด อย่างไรก็ตามการส่งพลังงานไฟฟ้า HVDC ระยะทางไกลในปริมาณมากๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง HVAC กับ HVDC แล้วพบว่าการส่งด้วยกระแสไฟตรงแรงดันสูง หรือ HVDC มีประสิทธิภาพดีกว่าในหลายกรณี จึงมีการพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยระบบกระแสตรงแรงดันสูงให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น เพื่อการรองรับการส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานธรรมชาติที่ยั่งยืนที่อยู่ห่างไกล ให้สามารถนำเข้ามาสู่ผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

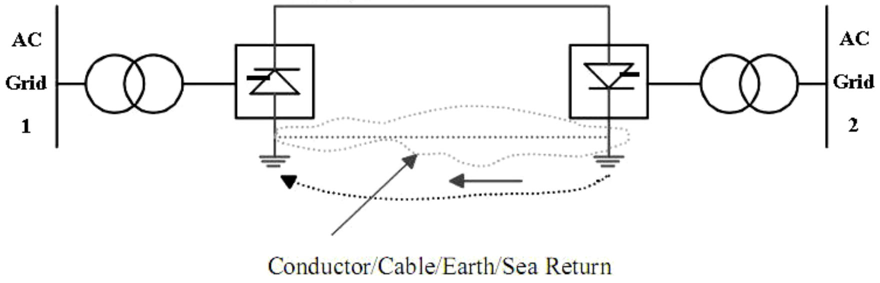
2. ทำความรู้จักกับการส่งไฟฟ้าแบบ HVDC

HVDC (high voltage direct current) หมายถึงไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันสูง เมื่อนำมาใช้ในการส่งกำลังงานไฟฟ้า ก็หมายถึงการส่งกำลังงานไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ระบบ HVDC ถูกใช้งานจริงในทางการค้าเป็นครั้งแรกเมื่อ 50 กว่าปีที่แล้ว คือ ใช้สำหรับส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างเกาะก็อตแลนด์ (Gotland) กับแผ่นดินใหญ่ของประเทศสวีเดน (Dennis A. Woodford, p1) ตั้งแต่ปี 1954 เป็นการส่งผ่านเคเบิลใต้น้ำ 1 เส้น แล้วใช้พื้นดินเป็นทางไหลกลับของกระแสไฟ ระยะทาง 98 กิโลเมตร ต่อจากนั้นมีใช้งานระบบ HVDC เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กระจายตัวไปทั่วโลก ระบบ HVDC แตกต่างจาก HVAC คือกระแสไฟจะไม่กลับทิศทาง ไม่มีความถี่ 50/60 Hz โดยกระแสของ HVDC จะไหลในทิศทางเดียว ข้อได้เปรียบของ HVDC ที่ระยะทางไกลจะมีประสิทธิภาพมากกว่า คือเกิดการสูญเสียน้อยแต่ก็มีข้อเสียคือ ระบบ HVDC ต้องการอุปกรณ์ที่สถานีต้นทางและปลายทางมีราคาสูงมาก



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า AC ด้วย HVDC
ที่มา : M. Davies & Others, HVDC PLUS-Basics and Principle of Operation. p3.

บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า AC ด้วย HVDC ตามรูปที่ 1 มีกริดไฟฟ้า 2 กริดแต่ละกริดมีโครงสร้างอุปกรณ์เหมือนกัน คือ มีหม้อแปลงและตัวคอนเวอร์เตอร์แปลงไฟ AC/DC – DC/AC ต่อถึงกันด้วยสายไฟ 2 เส้น เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าขั้วบวกขั้วลบถึงกัน สายไฟ DC อาจสั้น ยาว ติดตั้งบนเสา ฝังดิน หรือใต้น้ำ ก็ได้ จะเห็นได้ว่าด้านไฟ AC ของแต่ละกริดเป็นอิสระจากกัน ไดอะแกรมการส่งกำลัง HVDC แบบใช้เคเบิล 1 เส้น ดังรูปที่ 2



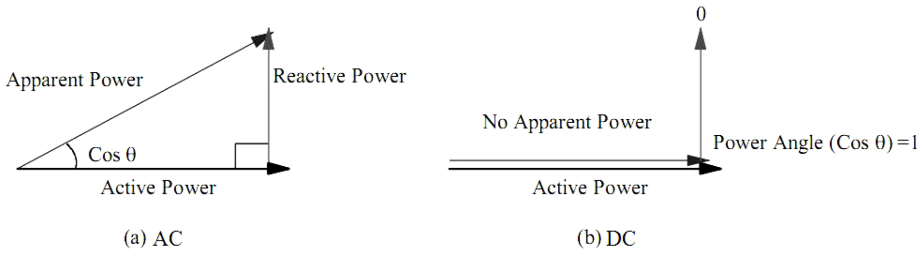
รูปที่ 2 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า HVDC ด้วย เคเบิล 1 เส้น
ที่มา : Chan-Ki Kim & Other. HVDC Transmission., p33.

3. ทำไมต้องใช้การส่งไฟฟ้าระบบ HVDC

การส่งระบบ HVDC มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากการส่งระบบ HVAC คือ

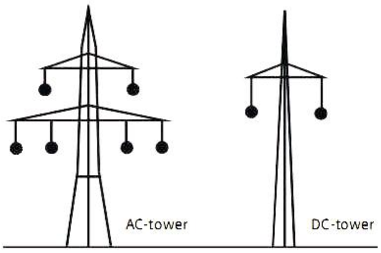
1. ระบบ HVDC ไม่มีความยุ่งยากในการต่อเชื่อมสถานีเข้าเครือข่าย กล่าวคือ สองสถานีหรือมากกว่า สามารถต่อเข้าด้วยกันโดยไม่ต้องการการซิงโครไนซ์(synchronized) และไม่จำเป็นต้องมีความถี่เดียวกัน จึงเป็นข้อดีที่จะสามารถเชื่อมเครือข่ายเพื่อเสริมความมั่นคงให้กับเครือข่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกันจากการผลิตหลายแหล่งได้ โดยเชื่อมต่อระบบกันผ่านทาง HVDC สถานีที่นำไฟฟ้าออกไปใช้สามารถแปลงความถี่ไฟ AC ได้ตรงกับผู้ใช้งานอย่างอิสระ มีตัวอย่างเช่น ในเมืองหนึ่งของญี่ปุ่น ซีกหนึ่งของเมืองต้องการใช้ไฟฟ้าความถี่ 60 Hz แต่อีกซีกหนึ่งของเมืองต้องการใช้ไฟฟ้าความถี่ 50 Hz ก็สามารถเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าแบบ HVDC ได้

2. ระบบ HVDC สามารถส่งกำลังงานไฟฟ้าไปได้ไกล โดยไม่ต้องการการชดเชยค่ารีแอกทีฟเพาเวอร์ (reactive power) รีแอกทีฟเพาเวอร์คือกำลังงานที่ไม่รวมอยู่ในกำลังงานที่ส่ง แต่เป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการส่งไฟกระแสสลับ เช่น ค่าความจุในสายส่ง (cable capacitance) จะถูกชาร์จตามค่าความถี่ 50 หรือ 60 ครั้งต่อวินาที การส่งด้วยกระแสตรงแรงดันสูง HVDC มีแรงดันในสายส่งคงที่ไม่มีการกำเนิดรีแอกทีฟเพาเวอร์ กำลังในการส่งที่เป็นไปได้ ดังกราฟรูปที่ 2



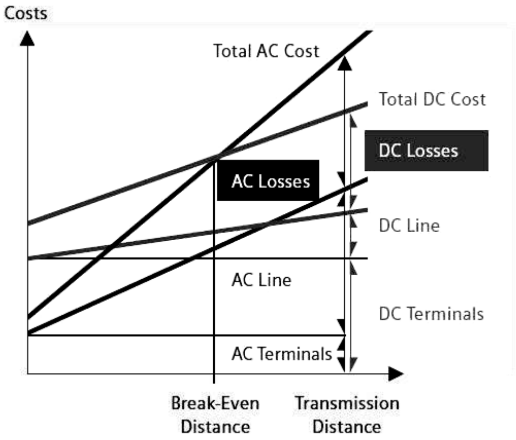
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบเพาเวอร์แฟคเตอร์ของ (a)AC กับ (b)DC
ที่มา : Chan-Ki Kim & Other. HVDC Transmission., p33.

3. ระบบ HVDC มีความประหยัด เช่นการใช้สายส่ง โดยตัวนำหรือสายส่งที่ต้องการของระบบ HVDC คือ 2 สาย บางกรณีอาจใช้สายเพียงเส้นเดียว เช่น อาจใช้พื้นดิน หรือน้ำทะเลเป็นทางไหลกลับของกระแสไฟ เมื่อเปรียบเทียบสายส่งกับระบบไฟกระแสสลับ ซึ่งทั่วไปจะใช้สายไฟ 3 สาย นอกจากนี้การก่อสร้างเสาสำหรับพาดสายส่งไปบนอากาศ ขนาดเสาส่งของ HVDC จะมีโครงสร้างที่เล็กลง เมื่อพิจารณาการส่งพลังงานที่เท่ากัน ในระยะทางที่เท่ากัน ระบบ HVDC จะมีความประหยัดมากกว่า



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบเสาส่งและสายส่ง AC-DC ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากัน
ที่มา : Siemens. High Voltage Direct Current Transmission, p5.

4. กรณีเดินสายใต้น้ำหรือใต้พื้นดิน ระบบ HVDC จะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการเดินสายพาดเสามาก ถ้าระยะทางการเดินสายใต้น้ำหรือฝังดินเกินกว่า 50 กิโลเมตร การใช้ระบบ HVAC จะยุ่งยากและมีอุปสรรค โครงการมักจะไม่พิจารณาระบบ HVAC แต่จะพิจารณาใช้ระบบ HVDC แทน ซึ่งจะแก้ปัญหาได้และสามารถดำเนินการได้ในระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร จึงเป็นทางเลือกในการต่อเชื่อมแหล่งพลังงานจากระยะไกลที่ดีที่สุด เช่น เชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานลมที่ติดตั้งในทะเล เดินสายเคเบิลระบบ HVDC มาใต้ทะเล เพื่อเชื่อมเข้ากับเครือข่ายพลังงานไฟฟ้าบนแผ่นดินใหญ่ เป็นต้น



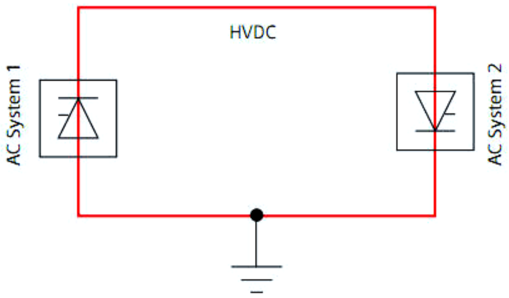
รูปที่ 5 กราฟค่าใช้จ่ายกับระยะทางการส่งกำลังงานเปรียบเทียบระหว่า ง AC กับ DC
ที่มา : Siemens. High Voltage Direct Current Transmission, p5.

5. ระบบ HVDC มีผลกระทบต่อทัศนียภาพ และกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เช่น การเดินสายแบบฝังใต้ดิน จะไม่รบกวนทัศนียภาพเดิม การเดินสายพาดเสาจะใช้พื้นที่น้อยกว่า กระทบต่อทรัพยากรที่สายส่งพาดผ่านน้อยกว่าตลอดจนการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากสายส่งไปสู่บริเวณแวดล้อมก็จะไม่มีไปรบกวนระบบอื่นที่อยู่ใกล้เคียง

6. ระบบ HVDC สามารถใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ช่วยได้ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยปัจจุบันเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ได้รับการพัฒนาเพื่อสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์ใหม่ๆ มารองรับ เช่น IGBT ทำให้ออกแบบสร้างสถานีส่งจ่ายไฟฟ้า HVDC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยผนวกกับโปรแกรมระบบควบคุม ทำให้สามารถออกแบบให้ระบบ HVDC ทำงานได้อย่างอัตโนมัติทั้งหมดได้ จึงเป็นการประหยัด ลดกำลังคนผู้ดูแลและมีค่าการบำรุงรักษาต่ำ

4. รูปแบบของ HVDC

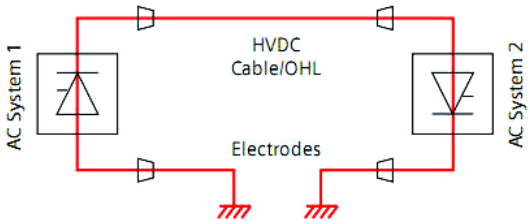
4.1 แบบแบคทูแบค (back-to-back)



รูปที่ 6 การต่อคอนเวอร์เตอร์แบบแบคทูแบค

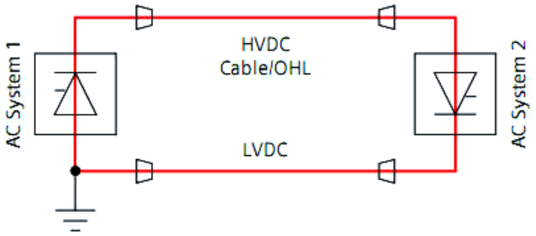
ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p6.

4.2 แบบโมโนโพลาร์ (monopolar)



รูปที่ 7 แบบโมโนโพลาร์ ใช้เคเบิล HVDC 1 เส้น กระแสไหลกลับผ่านพื้นดิน

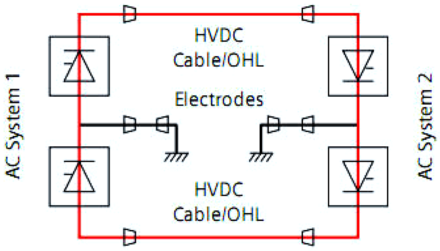
ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p6.



รูปที่ 8 แบบโมโนโพลาร์ ใช้เคเบิล HVDC 1 เส้น กระแสไกลกลับผ่านโลหะ LVDC

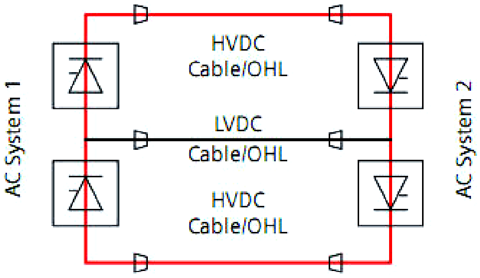
ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p6.

4.3 แบบไบโพลาร์ (bipolar)



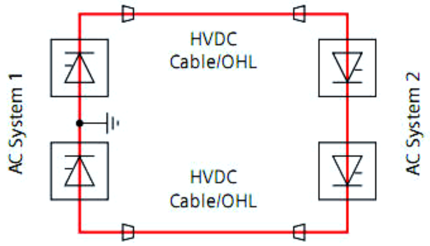
รูปที่ 9 แบบไบโพลาร์ที่มีการทำงานสมดุลใช้เคเบิล HVDC 2 เส้น กระแสไหลกลับผ่านพื้นดิน

ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p7.



รูปที่ 10 แบบไบโพลาร์ที่มีการทำงานสมดุลใช้เคเบิล HVDC 2 เส้น กระแสไหลกลับผ่านเคเบิล LVDC

ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p7.



รูปที่ 11 แบบไบโพลาร์ที่มีการทำงานสมดุลใช้เคเบิล HVDC 2 เส้น

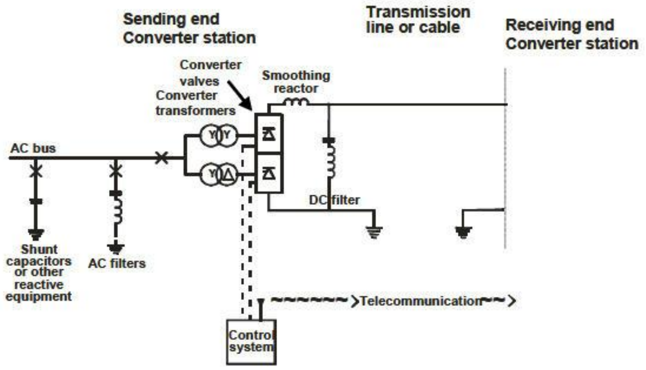
ที่มา : Siemens, High Voltage Direct Current Transmission. p7.

5. สถานีไฟฟ้าระบบ HVDC

สถานีแปลงไฟ HVDC มีอุปกรณ์หลายตัวที่จะทำหน้าที่แปลงไฟ AC เป็น DC อุปกรณ์หลักของสถานี คือ คอนเวอร์เตอร์วาล์ว (CV : converter valve)

ในสมัยเริ่มต้น ตัวคอนเวอร์เตอร์จะใช้อุปกรณ์เมอร์คูรีอาร์ควาล์ว (mercury arc valve) ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาสารกึ่งตัวนำ ไทริสเตอร์วาล์ว จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบคอนเวอร์เตอร์สำหรับสถานี HVDC ให้สามารถยืดหยุ่นและเพิ่มกำลังในการส่งให้มีความเหมาะสมและเป็นไปได้รูปแบบวงจร เช่น คอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส (CSCs : current sourced converters) และคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (VSCs : voltage-sourced converters)

รูปที่ 12 แสดงสถานีคอนเวอร์เตอร์ของระบบ HVDC ด้าน AC มีคาปาซิเตอร์และเอซีฟิลเตอร์ มีหม้อแปลง (converter transformer) เป็นตัวเชื่อมต่อระบบ AC กับคอนเวอร์เตอร์วาล์ว ด้าน DC มีดีซีฟิลเตอร์และรีแอกเตอร์ การทำงานของสถานีมีการควบคุมและสื่อสารทางไกลกับสถานีอื่นได้

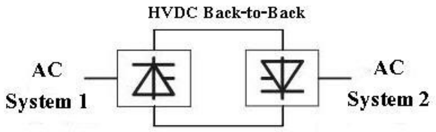


รูปที่ 12 สถานีคอนเวอร์เตอร์ HVDC ใช้ไทริสเตอร์วาล์ว

ที่มา : Gunnar Asplund. Sustainable energy systems with HVDC transmission. ABB, p1.

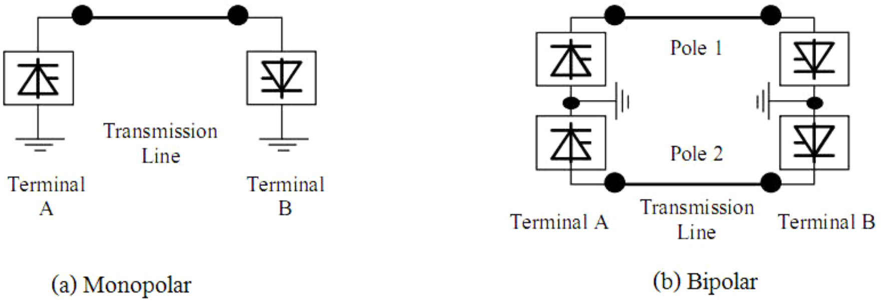
6. รูปแบบสถานีของ HVDC

6.1 แบบหนึ่งสถานี ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเครือข่ายกริดไฟฟ้า 2 กริดที่มีความแตกต่างกัน ไม่ซิงโครนัสกัน ระบบไฟของ 2 กริดเข้ากันไม่ได้ เช่น ความถี่ของไฟ AC ต่างกัน แต่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ให้ใช้พลังงานร่วมกันได้ ในสถานีแบบนี้เป็นการต่อคอนเวอร์เตอร์สองชุดแบบหลังชนกัน (B2B : back-to-back terminal) ในสถานีเดียวกัน ใช้ไฟ DC แรงดันสูงร่วมกัน แล้วใช้คอนเวอร์เตอร์แปลงระบบไฟออกไปเป็น AC ตามที่แต่ละกริดต้องการ เช่น ด้านหนึ่งเป็นความถี่ 60 Hz และอีกด้านหนึ่งเป็นความถี่ 50 Hz เป็นต้น แบบนี้ไม่มีสายส่งหรือเคเบิลออกไปนอกสถานี ดังรูปที่ 13



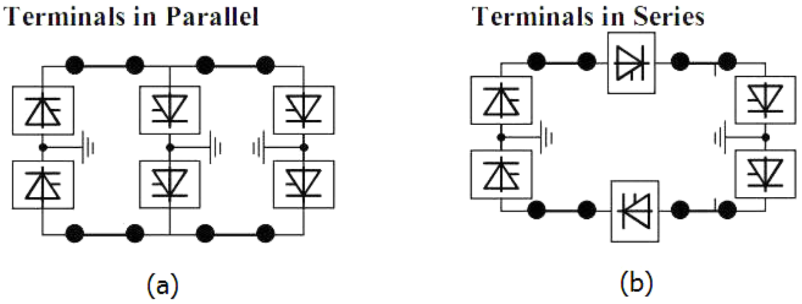
รูปที่ 13 บล็อกไดอะแกรมระบบ HVDC แบบหนึ่งสถานี
ที่มา : Chan-Ki Kim & Other, HVDC Transmission., p22.

6.2 แบบสองสถานี ใช้สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่ง (P2P : point-to-point terminal) เช่น จากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยังแหล่งใช้งาน มีสถานีต้นทางกับปลายทางระหว่างสถานีที่อยู่ห่างไกลกัน เชื่อมโยงกระแสไฟ DC แรงดันสูงถึงกันด้วยสายส่งหรือเคเบิล สถานีต้นทางจะส่งไฟ DC แรงดันสูงเข้าไปในสายส่ง และสถานีปลายทางมีคอนเวอร์เตอร์รับเอาไฟ DC แรงดันสูงมาแปลงเป็นไฟ AC ป้อนเข้าระบบของกริดด้านที่ใช้งานของสถานีอย่างอิสระ รูปแบบการใช้สายเคเบิลเชื่อมโยงพลังงาน อาจใช้สายเดี่ยว (monopolar) สายคู่ (bipolar) อาจใช้เส้นทางกระแสไฟไหลกลับด้วยพื้นดิน ด้วยน้ำทะเลหรือใช้โลหะแทนสายไฟ ขึ้นอยู่กับพื้นที่และเทคโนโลยีของบริษัทที่จัดการระบบ ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 บล็อกไดอะแกรมระบบ HVDC แบบสองสถานี
ที่มา : Chan-Ki Kim & Other, HVDC Transmission., p19.

6.3 แบบหลายสถานี (multi-terminal) เป็นการต่อเชื่อมกันตั้งแต่ 3 สถานีขึ้นไป สามารถต่อเชื่อมแต่ละสถานีเข้าด้วยกันด้านไฟ DC แรงดันสูง รูปแบบของสถานีอาจต่อเข้าระบบแบบอนุกรมหรือแบบขนานก็สามารถทำได้ การต่อแบบขนานจะใช้เมื่อสถานีย่อยที่ต่อเข้าระบบมีกำลังมากกว่า 10% ของระบบ ส่วนการต่อแบบอนุกรมจะใช้เมื่อสถานีย่อยมีกำลังต่ำกว่า 10% ของระบบ ดังรูปที่ 15 (Dennis A. Woodford, p8-9.)

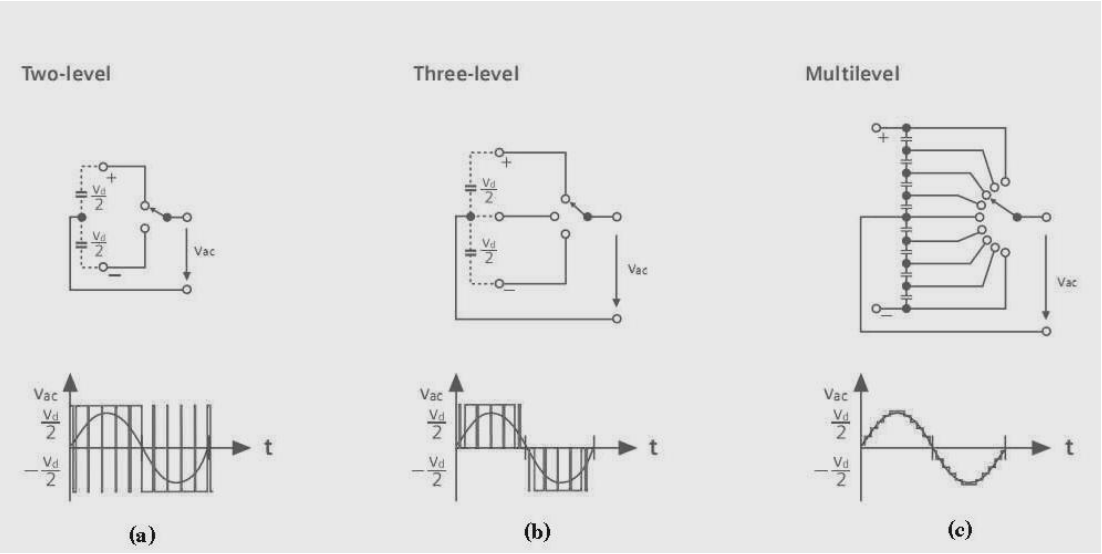


รูปที่ 15 บล็อกไดอะแกรมระบบ HVDC แบบหลายสถานี (a) แบบขนาน (b) แบบอนุกรม
ที่มา : Chan-Ki Kim & Other, HVDC Transmission., p23.

7. เทคโนโลยี HVDC

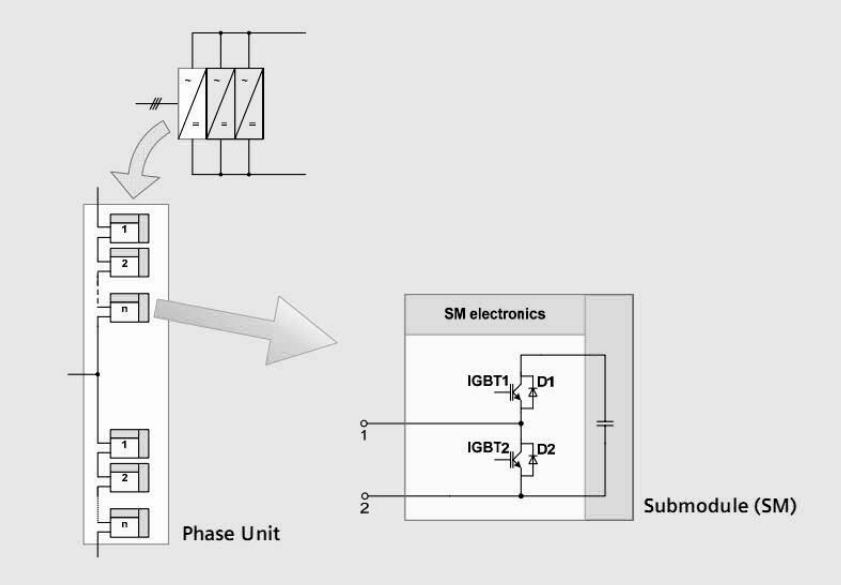
เทคโนโลยีที่สำคัญของ HVDC ประกอบด้วย คอนเวอร์เตอร์วาล์ว และสายเคเบิล

7.1 เทคโนโลยีคอนเวอร์เตอร์วาล์ว ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นกว่าเดิมภายใต้เทคโนโลยี IGBT (insulated gate bipolar transistor) ที่ควบคุมการทำงานให้เป็นสวิตช์เปิด-ปิดวงจรได้ ทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถสวิตช์แรงดันได้เป็นขั้นอย่างละเอียดใกล้เคียงคลื่นไซน์มากที่สุด คอนเวอร์เตอร์วาล์วรุ่นเก่าจะมีความสามารถต่ำกว่า ทำได้ 2-3 ระดับ จึงมีแรงดันบางส่วนที่เกินมามาก เป็นภาระที่ต้องกรองและเกิดการสูญเสีย ดังแสดงหลักการของคอนเวอร์เตอร์ในการสวิตช์แรงดันไว้ในรูปที่ 16



รูปที่ 16 พัฒนาการของคอนเวอร์เตอร์ 3 แบบ (a) แบบ 2 ระดับ (b) แบบ 3 ระดับ (c) แบบหลายระดับ
ที่มา : Siemens. The Smart Way. HVDC PLUS – One Step Ahead, p4.

เพื่อให้ได้แรงดันสูงตามที่ระบบ HVDC ต้องการ จึงต้องใช้ IGBT ต่ออนุกรมกันเป็นชุดซับโมดูล (submodule) ดังรูปที่ 17 ชุดซับโมดูลจะถูกต่ออนุกรมกันหลายซับโมดูลเป็นแขน (arm) ให้เหมาะสมกับแรงดันและสะดวกในการใช้งาน แล้วนำแขนหลายอันมาต่อกันเป็นคอนเวอร์เตอร์เรียกว่า MMC (modular multilevel converter) ซึ่งคอนเวอร์เตอร์วาล์วจะมี IGBT และอุปกรณ์ประกอบเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 17 อุปกรณ์ IGBT ในซับโมดูลของคอนเวอร์เตอร์
ที่มา : M. Davies and Other. HVDC PLUS-Basics and Principle of Operation. Siemens. P8.

คอนเวอร์เตอร์ MMC ที่นำโมดูลมาต่อเข้าด้วยกันจะทำงานในลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (VSCs : voltage-sourced converters) โดยตัวคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เป็นเหมือนตัวเยนเนอร์เรเตอร์ที่จะจ่ายกำลังงานแก่โหลด สามารถควบคุมกำลังงานได้ ควบคุมแรงดัน ควบคุมคุณภาพของไฟฟ้าได้อย่างอิสระ

7.2 เทคโนโลยีสายเคเบิลของระบบ HVDC

การใช้งาน DC เคเบิลในระบบ HVDC ที่มีความสำคัญมากๆ คือเดินสายเคเบิลเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าผ่านใต้น้ำทะเล เพราะเทคโนโลยีของระบบ HVDC สามารถส่งได้ดีกว่าระบบ HVAC โดยสามารถส่งได้ระยะทางมากกว่า 70 km และมีขีดความสามารถในการส่งกำลังมากจนถึง 1000 mW ±600 kV สำหรับการส่งแบบไบโพลาร์ จึงจำเป็นต้องมีเคเบิลพิเศษสำหรับระบบ HVDC

1) แมส-อิมเพรกเนตเคเบิล (Mass-Impregnated Cable) (ABB) เป็นเคเบิลที่ใช้อยู่ในระบบ HVDC ทั้งหมด โครงสร้างประกอบด้วยทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าอยู่ที่แกนกลาง รอบแกนมีวัสดุหุ้มไว้หลายชั้น ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟแรงสูง ทำหน้าที่ปกป้องให้ความแข็งแรง ป้องกันสนิม และเสริมสมรรถนะอื่นให้สายเคเบิลได้คุณลักษณะเหมาะสมกับการใช้งาน

ในการพัฒนาเคเบิลสำหรับ HVDC จะรวมการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการทางไหลกลับของกระแสไว้ด้วย โดยการทำสายดินหรือโลหะอื่นเป็นทางไหลกลับของกระแสไฟ จะถูกทำเบ็ดเสร็จรวมอยู่ในเคเบิล รวมถึงการใส่สายไฟเบอร์ออปติกเพื่อการสื่อสารและการควบคุมไว้ด้วย

เทคโนโลยี แมส-อิมเพรกเนตเคเบิลนี้ สามารถรองรับแรงดันได้ถึง 800 kV สามารถส่งกำลังได้ถึง 1000 MW ในสายเคเบิลเส้นเดียว เดินใต้น้ำทะเลได้ลึกถึง 1000 เมตร และไม่มีขีดจำกัดเรื่องความยาวของสาย

2) เคเบิลแบบ GIL (Gas-insulated transmission lines) อาจจะเรียกว่าท่อลำเลียงพลังงานไฟฟ้าก็น่าจะได้ โครงสร้างจะเป็นท่อสองชั้น ทำจากอะลูมิเนียม ท่อชั้นในเป็นตัวนำไฟฟ้าขนาดหน้าตัดใหญ่ถึง 5,300 mm^2. ใช้ฉนวนยึดเป็นระยะๆ ให้ตัวนำอยู่กึ่งกลางท่อ ท่อชั้นนอกที่ใหญ่กว่าเชื่อมปิดอย่างดี ช่องว่างระหว่างชั้นนอกกับชั้นในเติมแก๊สไนโตรเจน (N_2) ผสมกับ ซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ (SF_6 : sulphur hexa fluoride) เล็กน้อย (20%) ท่อแบบนี้จะลำเลียงพลังงานไฟฟ้าได้มาก แต่การสร้างและติดตั้งยังอยู่ในขีดจำกัด (Siemens) อนาคตอาจถูกใช้เป็นซูเปอร์ไฮเวย์ (super high ways) ในการส่งกระแสไฟฟ้าของโครงข่ายซูเปอร์กริด (super grid)

8. บทสรุป

ความหวังของการพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าในอนาคต จากอดีตของการใช้งาน HVDC และเทคโนโลยีต่างๆ ที่นำมาพัฒนาด้านการส่งพลังงานไฟฟ้า เพื่อความมั่นคงแข็งแรง ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ แหล่งผลิตที่ยั่งยืน โครงข่ายกริดกำลังไฟฟ้าทุกชนิด ขนาดต่างๆ จะถูกต่อเข้าด้วยกัน เสริมเข้าด้วยกัน เช่น อาจใช้สายส่ง AC ที่มีอยู่เดิม แล้วเชื่อมต่อโครงข่ายด้วย HVDC แบบ Back-to-Back หรือใช้ HVDC ส่งกำลังระยะไกลจากจุดหนึ่งไฟยังอีกจุดหนึ่ง และใช้โครงข่ายผสมผสาน AC-DC แบบไฮบริด เป็นต้น ซึ่งจะมีความเหมาะสม ในเรื่องของเทคโนโลยีที่รองรับ สภาพเศรษฐกิจ และความมั่นคงปลอดภัยของระบบที่ต้องการ โครงข่ายไมโครกริด (micro-grid) ที่รวมเอาแหล่งผลิตและสะสมกำลังงานแบบยั่งยืน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ถูกต่อเข้าด้วยกันอย่างมีเสถียรภาพ ไมโครกริดที่มีความยืดหยุ่นสูงเหล่านี้จะเชื่อมต่อเข้าโครงข่ายสมาร์ทกริด (smart-grid) ที่มีความอัจฉริยะในการสื่อสารข้อมูลและจัดการด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สนองตอบอย่างรวดเร็วในเรื่องการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้พอดีกับความต้องการของโหลด พลังงานที่เหลือจะถูกเก็บไว้ สำหรับเสริมความมั่นคงหรือจ่ายให้กริดอื่นๆ ทั้งหมดนี้จะได้รับการสนับสนุนภายใต้โครงข่ายใหญ่ซูเปอร์กริด (super-grid) ที่จะลำเลียงพลังงานจำนวนมหาศาลมาตามถนนพลังงาน (energy high ways) สามารถเข้าถึงแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และลังงานลม ที่จะให้ความปลอดภัยและความยั่งยืนซึ่งจะต้องใช้เทคโนโลยีระบบ HVDC ที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลัง IGBT หรือเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำที่ดีกว่าเป็นอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์วาล์วแบบใหม่ ที่สร้างไฟ AC รูปคลื่นไซน์มีความเพี้ยนน้อยที่สุด จากคอนเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ (multilevel) แล้วรวมเข้าเป็นโมดูล MMC (modular multilevel converter) พร้อมทั้งการพัฒนาสายเคเบิลแรงดันสูงที่มีทั้งสายลำเลียงกำลังงาน สายกระแสไหลกลับ และสายสื่อสารข้อมูลเพื่อการควบคุมอยู่ภายในเคเบิลเดียวกัน และเพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานได้กว้างขวางขึ้น ระบบ HVDC จะถูกบูรณาการให้เข้ากับระบบ AC อย่างกลมกลืน เป็นการลดการสูญเสีย ซึ่งจะช่วยให้การส่งกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น โรงไฟฟ้าแบบไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมบางแห่งอาจต้องปิดตัวลง เพื่อลดการใช้ทรัพยากรพลังงานที่กำลังหมดไปและลดปริมาณการปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศ เหล่านี้เป็นวิถีแห่งความตระหนักและความรับผิดชอบเพื่อให้เกิดความยั่งยืนต่อพลังงานและสิ่งแวดล้อมของโลก

9. บรรณานุกรม

ABB. **Submarine Power Cables**. URL : www.abb.com, access on 10/1/2012.

Chan-Ki Kim, Vijay K. Sood, Gil-Soo Jang, Seong-Joo Lim, and Seok-Jin Lee. **HVDC Transmission.** John Wiley & Sons (Asia) Pte, Ltd. URL : http://media.wiley.com, access on 10/1/2012.

Dennis A. Woodford. HVDC Transmission. (18 March, 1998), Manitoba HVDC Research Centre, Winnipeg, Manitoba, Canada.

Gunnar Asplund. **Sustainable energy systems with HVDC transmission**. ABB Power Technologies. URL : www.abb.com, access on 10/1/2012.

Gunther Beck, Dusan Povh, Dietmar Retzmann and Erwin Teltsch. **Global Blackouts – Lessons Learned.** Siemens AG. (July, 2011). URL : www.siemens.com/energy/hvdc, access on 10/1/2012.

M. Davies, M. Dommaschk, J. Dorn, J. Lang, D. Retzmann and D. Soerangr. **HVDC PLUS-Basics and Principle of Operation.** Siemens AG. (2011). URL: http://www.siemens.com/energy/hvdcplus, access on 10/1/2012.

Michael Bahrman. **HVDC Transmission**. URL : www.abb.com, access on 10/1/2012.

Siemens. **Gas-insulated transmission lines (GIL),** High-power transmission technology. Siemens AG. (2011). URL: www.siemens.com/energy, access on 10/1/2012.

Siemens. **High Voltage Direct Current Transmission**, Proven Technology for Power Exchange. Siemens AG. (2011). URL : www.siemens.com/energy/hvdc, access on 10/1/2012.

Siemens. **The Smart Way. HVDC PLUS** – One Step Ahead. Siemens AG. (2011). URL : www.siemens.com/energy/hvdcplus, access on 10/1/2012.

W. Breuer, D. Retzmann, and K. Uecker. **High Efficient Solutions for Smart and Bulk Power Transmission of Green Energy.** Siemens AG. (July, 2011). URL : www.siemens.com/energy/hvdc, access on 10/1/2012.

Johan Setr´eus and Lina Bertling, **Introduction to HVDC Technology for Reliable Electrical Power Systems**. URL : https://eeweb01.ee.kth.se/upload/publications/reports/2008/IR-EE-ETK_2008_014.pdf , access on 10/1/2012