

บทเรียนจากวิวัฒนาการของระบบไฟฟ้ากำลังบนเส้นทางสู่ระบบไมโครกริดและ โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

Lesson Learned from the Evolution of Power System on the Roadmap to Microgrid and Smart Grid

คมสันต์ ดาโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Komson Daroj

Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

Tel: 0-4535-3319 E-mail: daroj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้เป็นบทความฉบับแรกในจำนวนบทความสามฉบับ โดยภาพรวมของบทความทั้งสามฉบับ ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์ให้รายละเอียดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบไฟฟ้ากำลัง ที่มีแนวทางในการพัฒนาเพื่อปรับปรุงระบบให้มีความมั่นคงและความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น โดยในบทความฉบับแรกนี้จะได้กล่าวถึง วิวัฒนาการระบบไฟฟ้าตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงก่อนที่จะมาเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ นอกเหนือจากรายละเอียดด้านประวัติศาสตร์ ผู้เขียนได้ให้และข้อคิดเห็นในเชิงวิชาการอันเป็นสาเหตุทำให้เกิดจุดเปลี่ยนของเหตุการณ์เหล่านี้ ที่ผู้วางแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าจะต้องเรียนรู้ทำความเข้าใจ เพื่อเป็นบทเรียนก่อนที่จะพัฒนาระบบไฟฟ้าให้ก้าวไปสู่อนาคต ที่เป็นระบบไมโครกริดและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

คำหลัก วิวัฒนาการของระบบไฟฟ้ากำลัง ไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสสลับ สงครามกระแสไฟฟ้า ความเชื่อถือได้ ไมโครกริด โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

Abstract

This is the first article of the three papers. The overall objectives of these three papers are to provide information regarding the evolution trend of an electric power system, which has been developed for improving security and reliability. In this paper, the evolution of an electric power system from Direct

Current (DC) to Alternating Current (AC) systems is presented. Besides the historical information, the author gave academic notice to the root causes that are turning points of these circumstances, which the planners should be learned before planning and implementing the future electric system into the microgrid and smart grid.

Keywords: Evolution of power system, direct current, alternating current, war of electricity, reliability. micro-grid, smart grid

1. บทนำ

ในหลายปีที่ผ่านมาประเด็นใหญ่เรื่องหนึ่งที่มีการกล่าวถึงอย่างกว้างขวาง และส่งผลกระทบอย่างสูงต่อแนวทางการพัฒนาระบบผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้า คือแนวคิดระบบไฟฟ้าอนาคตที่เป็นไมโครกริด (microgrid) และโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart grid) [1 – 8] ส่วนหนึ่งของแนวคิดดังกล่าวเป็นผลสืบเนื่องมาจากความต้องการที่จะให้เกิดการใช้พลังงานทางเลือกอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการรณรงค์หลักที่เชื่อว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถลดผลกระทบจากปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming)

ระบบไฟฟ้าที่เป็นไมโครกริดและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะมีแนวคิดเบื้องต้นและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน แต่ถึงกระนั้นประเด็นวิจัยบางประเด็นโดยเฉพาะที่

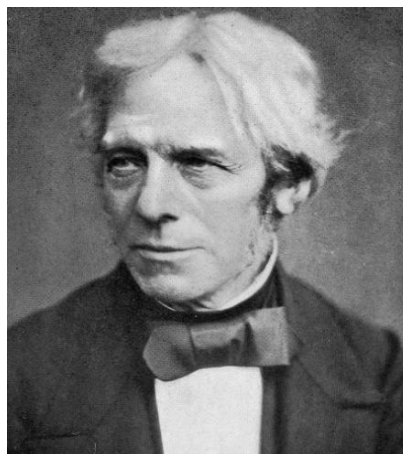
เกี่ยวข้องกับการผลิตและใช้ไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกลับมีส่วนที่เกี่ยวข้องกันอย่างมาก ด้วยความที่ไม่ใครกริดและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะมีทั้งแนวคิดที่เสริมกันและต่างกัน ทำให้บางครั้งแม้กระทั่งผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกักระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าเองทั่วโลก เช่น วิศวกรหลากหลายสาขานักวิจัย วิศวกรไฟฟ้า วิศวกรพลังงาน บริษัทผู้สร้างโรงไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าย่อย บริษัทผู้ผลิตระบบไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน บริษัทผู้ผลิตระบบและอุปกรณ์สื่อสาร บริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและสำนักงาน เป็นต้น ก็ยังมีมุมมองที่แตกต่างกันในหลายประเด็น [9 – 15] เพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อแนวคิดดังกล่าว บทความวิชาการทั้งสามฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับปรัชญาและแนวคิดหลักของทั้งระบบไมโครกริดและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ทิศทางงานวิจัย รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นในบริบทที่ผู้ที่เกี่ยวข้องต้องทำความเข้าใจ

โดยในบทความฉบับนี้จะได้กล่าวถึงประวัติโดยย่อของระบบไฟฟ้ากำลัง ในด้านข้อเท็จจริงและแนวคิดที่ผลักดันสู่การพัฒนาเปลี่ยนแปลงระบบให้มีความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น โดยมีสาระสำคัญดังนี้

2. กำเนิดวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากำลังในยุคเริ่มต้นทั้งที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) และระบบไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) มีพื้นฐานความสำเร็จต่อเนื่องมาเป็นลำดับจากผลงานของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน [16] ในที่นี้จะขอตัดตอนมาถึงยุคของ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) [17] นักวิทยาศาสตร์ด้านเคมีไฟฟ้าชาวอังกฤษ อันเป็นยุคของการปฏิวัติความรู้ด้านการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีสาระสำคัญว่าอำนาจไฟฟ้าและแม่เหล็กสามารถเปลี่ยนรูปสลับกันได้ เรียกว่าแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) โดยในช่วงเวลาใกล้เคียงกันนั้น โจเซฟ เฮนรี (Joseph Henry) [18] นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันก็ได้ค้นพบและศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกัน จนได้รับการเชิดชูเกียรติโดยให้มีการใช้ชื่อ เฮนรี เป็นหน่วยของตัวนำไฟฟ้า แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ ไมเคิล ฟาราเดย์ ผู้ซึ่งต่อมาภายหลังผลักดันให้ เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) นักคณิตศาสตร์ฟิสิกส์ ชาวสกอตต์แลนด์ พัฒนาทฤษฎี

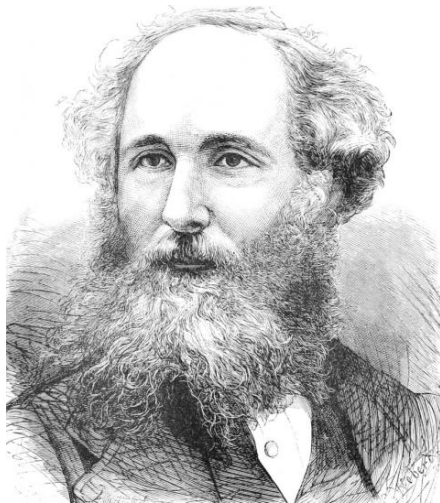
แม่เหล็กไฟฟ้าจนสำเร็จกลายเป็นทฤษฎีที่มีชื่อเสียงและผลกระทบอย่างสูงต่อการพัฒนาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในเวลาต่อมา [19 – 20]



รูปที่ 1 ไมเคิล ฟาราเดย์ [17]

ฟาราเดย์เป็นผู้มีความสนใจงานด้านวิทยาศาสตร์ไฟฟ้าตั้งแต่วัยเด็กแม้จะไม่ได้จบการศึกษาในระดับสูง แต่ฟาราเดย์ก็มีความมุ่งมั่นจนได้รับเลือกให้เป็นผู้ช่วยของท่านเซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี (Sir Humphry Davy) นักเคมีชาวอังกฤษ จากจุดนี้เองฟาราเดย์ได้มีโอกาสรู้จักกับนักวิทยาศาสตร์คนสำคัญหลายคน และได้เริ่มเรียนรู้พัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์อย่างจริงจัง โดยได้เขียนบทความและรายงานทางวิทยาศาสตร์จนมีชื่อเสียง จากผลงานด้านแม่เหล็ก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และงานด้านไฟฟ้าเคมี แม้ฟาราเดย์จะขาดความรู้เชิงลึกในการใช้สมการคณิตศาสตร์อธิบายงาน แต่ก็ชดเชยจุดบกพร่องนี้ด้วยการเขียนบรรยายแนวคิดขั้นตอนดำเนินงานและผลการทดลองอย่างชัดเจนโดยใช้คณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน ผลงานที่คลาสสิกชิ้นสำคัญเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ได้เป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดการปรับปรุงการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าสำคัญ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นการวางรากฐานสำคัญในการพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลังในเวลาต่อมา ฟาราเดย์ได้รับแต่งตั้งเป็นศาสตราจารย์ประจำราชสมาคมแห่งราชอาณาจักรเมื่ออายุได้ 43 ปี ในช่วงปลายของชีวิต ฟาราเดย์ มีความเชื่อว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เขาหาทางพิสูจน์ไม่ได้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1860 ฟาราเดย์ได้รู้จักและติดต่อกับ แมกซ์เวลล์ ผู้กลายเป็นเพื่อนสนิททางวัยของฟาราเดย์ ซึ่งได้ซึมซับ

และพัฒนาต่อยอดผลงานที่เป็นแนวคิดของฟาราเดย์ ด้านแม่เหล็กไฟฟ้าจนพิสูจน์ได้ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [21]



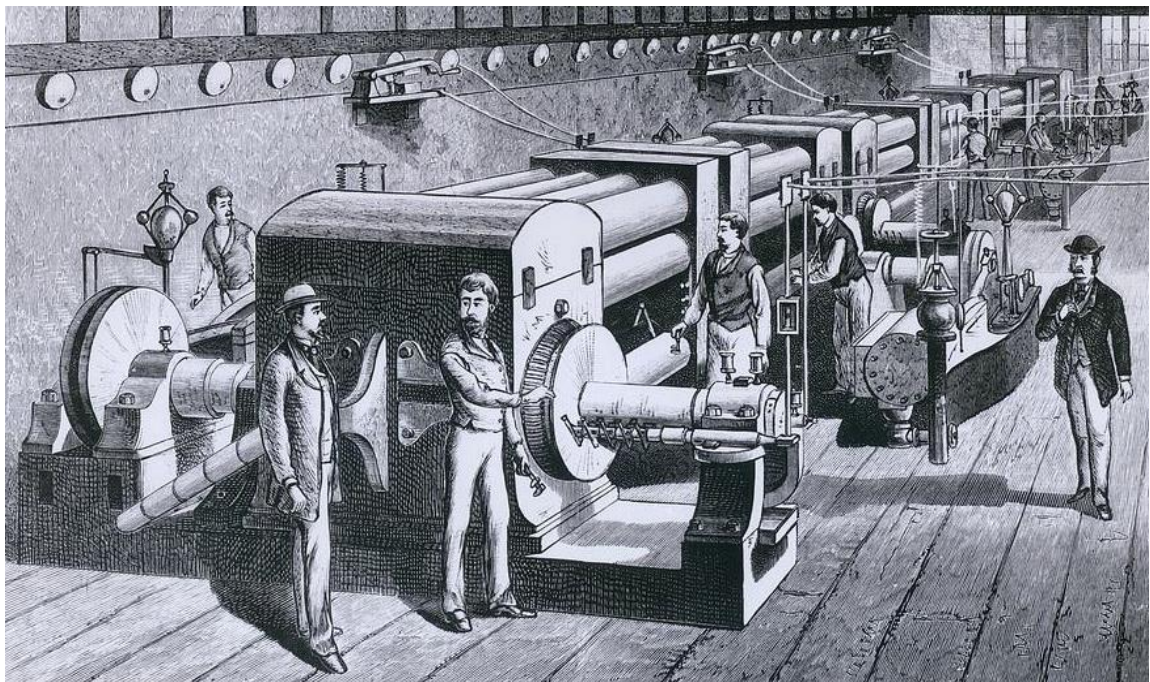
รูปที่ 2 เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ [19]

ทฤษฎีที่แมกซ์เวลล์พัฒนาขึ้นนั้นใช้สมการ 4 สมการ ในการอธิบายสาระสำคัญของปรากฏการณ์ไฟฟ้า แม่เหล็ก และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าว่าเป็นปรากฏการณ์ที่มีความสัมพันธ์กัน ผลงานนี้เป็นรากฐานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้แมกซ์เวลล์จึงเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงมากคนหนึ่งในประวัติศาสตร์ จนได้รับการขนานนามควบคู่กับเซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir

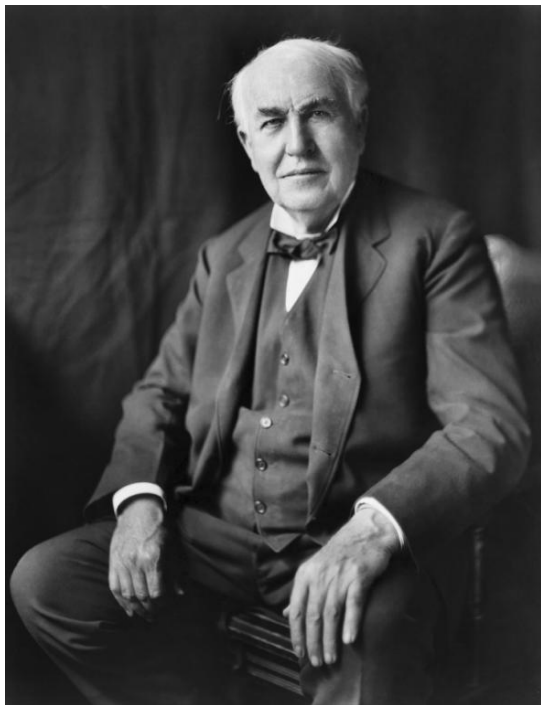
Isaac Newton) ในเวลานั้นและในเวลาต่อมา อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้ใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นแนวทางพัฒนาทฤษฎีสัมพันธภาพ (relativity theory) อันโด่งดังเป็นผลสำเร็จ [22 – 23]

3. จุดเริ่มต้นของระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังได้เกิดขึ้นเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1882 ที่เมนโลพาร์ก รัฐนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา [24] ในปีเดียวกันได้มีการสร้างระบบไฟฟ้าที่กรุงลอนดอนประเทศอังกฤษ และที่สถานีเพิร์ลสตรีททางตอนเหนือของเกาะแมนฮัตตัน นิวยอร์ก อเมริกา ซึ่งโรงไฟฟ้าที่ถนนเพิร์ลนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า AC ที่จะเกิดขึ้นภายหลังเป็นระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำสามสาย +110 โวลต์ -110 โวลต์ และสายกลาง ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสร้างแรงดันไฟฟ้าจากการหมุนขดลวดด้วยพลังงานกลจากระบบกังหันไอน้ำที่ต้มน้ำผ่านสนามแม่เหล็กคงที่ จ่ายผ่านสายจำหน่ายเคเบิลใต้ดินทองแดงให้กับลูกค้าผู้ใช้ไฟ ซึ่งเป็นโหลดหลอดไส้ (incandescent light bulb) โดยมีบริษัท Edison Illuminating Company ที่ก่อตั้งโดย โทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) [25] นักประดิษฐ์ผู้ยิ่งใหญ่ชาวอเมริกันผู้ถือครองสิทธิบัตร 1000 กว่าชิ้น เป็นผู้ดำเนินการและควบคุมระบบ



รูปที่ 3 ห้องต้นกำลังของระบบผลิตไฟฟ้า DC ของเอดิสัน [25]



รูปที่ 4 โทมัส อัลวา เอดิสัน ในวัยชรา [26]

ระบบไฟฟ้า กระแสตรง (DC) ที่เกิดขึ้นในยุคเริ่มต้นนั้นนับเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดในการประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์ได้จริง ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ในเวลานั้น แต่จากการที่ระบบมีการส่งพลังงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ ทำให้มีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียมาก และปัญหาด้านเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ปลายสายมีแรงดันตกมาก ทำให้ไม่สามารถส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางได้ไกล [27 – 28] ระบบไฟฟ้า DC ในยุคแรกจึงมีลักษณะกระจายตัวไม่เชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายโดยโรงไฟฟ้าหนึ่งโรงสามารถจ่ายโหลดกลุ่มย่อยเฉพาะพื้นที่ในรัศมีประมาณ 2 กิโลเมตร

ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันทางทวีปยุโรปได้พัฒนาระบบไฟฟ้า กระแสสลับ (AC) ขึ้นมา จนมีความสำเร็จอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ ทั้งด้านทฤษฎีและสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นรากฐานสำคัญของระบบไฟฟ้า AC ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 1884 นิโคลาส เทสลา (Nicola Tesla) [29] วิศวกรชาวโครเอเชีย หนึ่งในทีมงานคนสำคัญที่ทำงานในบริษัท Continental Edison Company ซึ่งเป็นบริษัทพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าของเอดิสันในฝรั่งเศส ได้รับการแนะนำให้เดินทางเข้าพบเอดิสันเพื่อเสนอแนวคิดต่อเอดิสันเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และแนวทางการ

พัฒนาระบบไฟฟ้า AC ซึ่งสามารถทำให้งานด้านเศรษฐศาสตร์ต่ำกว่าระบบไฟฟ้ากระแสตรง ในตอนนั้นเอดิสันขาดความเข้าใจเชิงทฤษฎีพื้นฐานต่อระบบ AC จึงไม่สนใจแนวคิดนี้ แต่ก็ได้เสนองานให้เทสลาปรับปรุงเครื่องกำเนิดและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยสัญญาจะให้เงินโบนัสตอบแทน แต่เมื่อเทสลาทำได้สำเร็จเอดิสันกลับไม่จ่ายเงินตามสัญญาโดยอ้างว่าเป็นอารมณ์ขันของชาวอเมริกัน เทสลาได้ลาออกจากบริษัทของเอดิสันในปี ค.ศ. 1885 ในปีถัดมาเทสลาได้ก่อตั้งบริษัทชื่อ Tesla Electric Light & Manufacturing โดยมีสิทธิบัตรสำคัญ ได้แก่ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบไม่ใช้แปรงถ่าน (brushless induction motor) และขดลวดเทสลา (Tesla Coil) พร้อมทั้งยังได้เสนอแนวคิดต่อสาธารณะชนเกี่ยวกับการผลิตส่งจ่ายและใช้งานระบบไฟฟ้า AC อย่างเป็นโครงข่ายครบวงจร ในเวลานั้นเอดิสันไม่ยอมรับและต่อต้านแนวคิดดังกล่าวอย่างรุนแรง โดยได้ให้เหตุผลสำคัญเกี่ยวกับข้อเสียของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ทางด้านความปลอดภัยจากการลัดวงจรของไฟ AC ซึ่งสามารถเกิดขึ้นและทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ง่ายกว่าไฟ DC และเอดิสันเองยังมีความเชื่อส่วนตัวว่าเหตุผลด้านความยุ่งยากในการควบคุมและป้องกันระบบ รวมถึงอันตรายจากไฟฟ้าจะทำให้ระบบไฟฟ้า AC ไม่สามารถใช้งานจริงได้ในที่สุด



รูปที่ 5 นิโคลาส เทสลา [30]

โดยสรุปภาพรวม องค์ประกอบที่เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ทำให้เทสลาเชื่อมั่นว่าจะสามารถพัฒนาระบบไฟฟ้า AC ให้สำเร็จจนได้ มีดังนี้

- ค.ศ. 1883 เทสลาได้ประดิษฐ์ขดลวดสร้างแรงดันสูง กระแสต่ำ (Tesla Coil) โดยใช้หลักการเรโซแนนซ์ [29]
- ค.ศ. 1884 เทสลาได้ประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า AC ซึ่งต่อมาได้พัฒนาต่อยอดโดย เซอร์ ชาร์ล อัลเกอร์นัน เพียร์สัน (Sir Charles Algernon Parsons) เพื่อให้สามารถใช้กังหันไอน้ำเป็นตัวขับ [29]
- ค.ศ. 1886 วิลเลียม สแตนลีย์ (William Stanley) ได้ประดิษฐ์หม้อแปลงไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำให้สูงขึ้น สำหรับการส่งพลังงานไฟฟ้า AC เป็นระยะทางไกลๆ จากต้นแบบหม้อแปลงของ ลูเซียน กอลาร์ด (Lucien Gaulard) และ จอห์น ดิกซอน กิบส์ (John Dixon Gibbs) [32]



รูปที่ 6 จอร์จ เวสติ้งเฮาส์ จูเนียร์ [31]

ในปี ค.ศ. 1888 ที่เทสลาได้สาธิตการทำงาน (demonstration) ของระบบไฟฟ้า AC หลายเฟส ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า AC หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ระบบสายส่งไฟฟ้า หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ลดลง โหลดที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำและหลอดไฟต่อสาธารณะชน ระบบไฟฟ้า AC ที่เทสลาได้นำเสนอนี้ได้จุดประกายให้วิศวกรและนักลงทุนคนสำคัญ จอร์จ เวสติ้งเฮาส์ จูเนียร์ (George Westinghouse, Jr.) สนใจ และดึงตัวเทสลาเป็นหุ้นส่วนบริษัท Westinghouse Electric & Manufacturing Company พร้อมรับซื้อสิ่งประดิษฐ์ที่เทสลาพัฒนาขึ้น พร้อมทั้งยังให้ทุนวิจัยสำหรับการพัฒนาระบบไฟฟ้า AC การร่วมงานของทั้งสองคนนี้ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการเริ่มต้นบุกเบิก

ธุรกิจไฟฟ้า AC อย่างจริงจัง และเป็นจุดเริ่มของสงครามกระแสไฟฟ้า (war of the currents) ในเวลาต่อมา

4. สงครามกระแสไฟฟ้า [27]

จากความมุ่งมั่นที่เทสลาและเวสติ้งเฮาส์ ต้องการจะพัฒนาให้มีการใช้ระบบไฟฟ้า AC เพื่อทดแทนระบบไฟฟ้า DC ทำให้กลุ่มนักลงทุนเดิมที่สนับสนุนระบบไฟฟ้า DC นำโดยเอ็ดิสัน ได้ออกมาโจมตีระบบไฟฟ้า AC อย่างหนักทุกวิถีทาง ทั้งผ่านทางสื่อสาธารณะชนและกฎหมาย ผ่านทางศาลเกี่ยวกับความไม่ปลอดภัยของไฟฟ้า AC ที่มีต่อชีวิต จนบานปลายจนกลายเป็นสงครามทางธุรกิจ เรียกว่าสงครามกระแสไฟฟ้า แต่เหตุผลสำคัญด้านต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ถูกกว่าทำให้ระบบ AC ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีลำดับความสำเร็จดังนี้ [32 – 33]

- ค.ศ. 1891 ได้มีการส่งไฟฟ้าด้วยระบบ AC 3 เฟส กำลังการผลิต 225 kW ในประเทศเยอรมันด้วยระยะทางไกล 175 กิโลเมตร จาก Lauffen-Neckar ไปยังงาน International Electro-Technical Exhibition
- ค.ศ. 1891 บริษัทเวสติ้งเฮาส์อิเล็กทริกสามารถส่งไฟฟ้า AC กำลังการผลิต 75 kW จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำเอมส์ รัฐโคโลราโดเพื่อจ่ายโหลดมอเตอร์ไฟฟ้า
- ค.ศ. 1893 บริษัทเวสติ้งเฮาส์อิเล็กทริก ได้จ่ายไฟ AC กำลังการผลิต 11 MW ให้กับระบบแสงสว่างในงาน ชิคาโกเวิร์ลแฟร์ โดยผ่านระบบสายส่งความยาว 22 ไมล์
- ค.ศ. 1896 ระบบผลิตและส่งไฟฟ้า AC ความยาว 20 ไมล์ ได้ส่งไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากน้ำตกไนแองการาไปยังเขตบัพฟาลโกลในนิวยอร์ก

จากความสำเร็จที่มีอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับของการส่งไฟฟ้าในระบบ AC เป็นระยะทางไกลหลายโครงการ ได้เป็นสัญญาณเตือนถึงการพลิกโฉมของระบบไฟฟ้าในอนาคต แม้กระทั่งบริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริก (General Electric) ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนของเอ็ดิสัน ก็ต้องมีการปรับตัว โดยมุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า AC ในเวลาต่อมา อันนับเป็นการสิ้นสุดของสงครามกระแสไฟฟ้า

5. ระบบไฟฟ้าหลังสงครามกระแส

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบไฟฟ้า AC ชนะในสงครามกระแสไฟฟ้าคือต้นทุนการผลิตและส่งไฟฟ้า หลังจากนั้น

ระบบไฟฟ้า AC ขยายตัวอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าในระยะต่อมาได้มุ่งเน้นไปที่การสร้างโรงไฟฟ้าให้มีขนาดใหญ่ขึ้น พัฒนาตัวขับ (prime mover) ที่สามารถใช้แหล่งพลังงานอื่นได้อีก เช่น กังหันไอน้ำและกังหันก๊าซ นอกเหนือจากพลังงานน้ำ สำหรับการส่งไฟฟ้า ได้พัฒนาให้สามารถส่งเป็นระยะทางไกลขึ้นโดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า ดังเหตุการณ์สำคัญที่จะขอกล่าวไว้มีดังนี้ [32-33]

- ค.ศ. 1900 มีการส่งไฟฟ้าด้วยแรงดันสูงขนาด 60 kV
- ค.ศ. 1901 มีการส่งไฟฟ้าข้ามประเทศจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำในแองการาไปยังประเทศแคนาดา
- ค.ศ. 1902 มีการใช้งานกังหันไอน้ำขนาด 5 MW ที่โรงไฟฟ้าฟิสก์ ในชิคาโก
- ค.ศ. 1903 มีการใช้งานเครื่องยนต์กังหันก๊าซครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส และในปีเดียวกัน ได้มีการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 MW เพื่อส่งไฟฟ้า ณ ระดับแรงดัน 50 kV ผ่านสายส่งเป็นระยะทาง 136 กิโลเมตรจากชิคาโกไปยังมอนทรีออล แคนาดา
- ค.ศ. 1909 เริ่มใช้งานโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำกลับเป็นครั้งแรกในประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- ค.ศ. 1921 มีการใช้งานโรงไฟฟ้าที่สามารถใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอย่างเดียวย โดยในช่วงต้น ค.ศ. 1920 ยังใช้พลังงานไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 600 ° F
- ค.ศ. 1922 Connecticut Valley Power Exchange (CONVEX) ได้วางแผนเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าสองแห่งเพื่อเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์เป็นครั้งแรก
- ค.ศ. 1936 สามารถผลิตไฟฟ้าโดยใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงถึง 900 ° F เป็นครั้งแรก และมีการส่งไฟฟ้า ณ ระดับแรงดัน 287 kV จากเชอโนฮูเวอร์ได้เป็นผลสำเร็จ
- ค.ศ. 1953 มีการส่งไฟฟ้า ณ ระดับแรงดัน 345 kV ได้เป็นผลสำเร็จ
- ค.ศ. 1954 ผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ได้เป็นครั้งแรกที่ประเทศรัสเซีย และในปีเดียวกันได้มีการทดลองส่งไฟฟ้า ด้วยระบบแรงดันสูงกระแสตรง (High Voltage Direct Current: HVDC) ขนาด 20 MW ณ ระดับแรงดัน 1900 kV ระยะทาง 96 km สำเร็จ

พร้อมกันนั้นระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มเติมเข้ามาในระบบ นอกเหนือจากที่มี

เพียงมอเตอร์และหลอดไฟฟ้า เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ในบ้านและสำนักงาน อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสาร เป็นต้น โดยภาพรวมระบบไฟฟ้า AC ในยุคต้นยังคงมีลักษณะเป็นระบบไฟฟ้าย่อย แยกอิสระ ไม่เชื่อมโยงกัน สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ส่วน คือ ระบบผลิตไฟฟ้า (generation system) ระบบส่งไฟฟ้า (transmission system) และระบบจำหน่ายไฟฟ้า (distribution system) ต่อมาภายหลังได้มีการเชื่อมโยงระบบส่งไฟฟ้าเข้าด้วยกันเป็นโครงข่าย ด้วยเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์และเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ให้แก่ระบบ ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ระบบไฟฟ้า DC ได้ถูกเบิกธุรกิจอยู่ประมาณ 10 ปี ก็เปลี่ยนถ่ายเป็นระบบ AC แต่ในบางพื้นที่ที่การเปลี่ยนถ่ายจะ เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ดังนี้ [32]

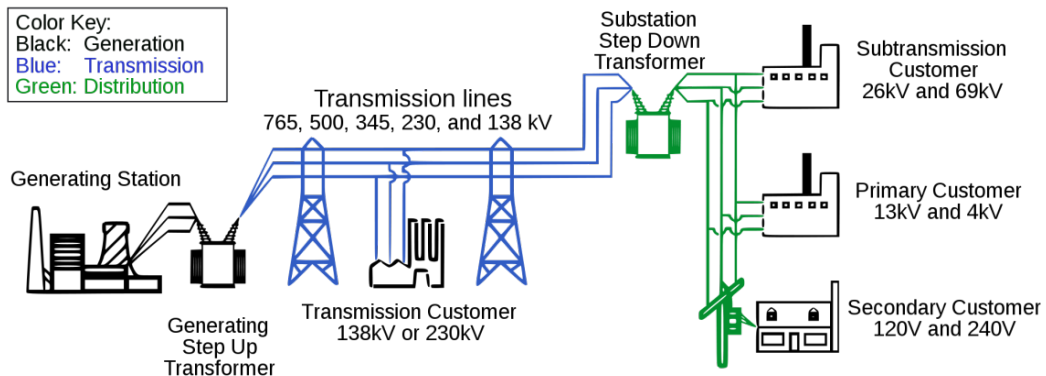
- กลางกรุงเฮลซิงกิยังคงใช้ระบบระบบไฟฟ้า DC จนกระทั่งถึงตอนปลายปี ค.ศ. 1940
- กรุงสตอกโฮล์มยกเลิกการใช้ระบบไฟฟ้า DC อย่างเป็นทางการในปี ค.ศ. 1970
- ผู้ใช้ไฟบางส่วนกรุงในกรุงนิวยอร์กยังคงใช้ไฟ DC เช่น โรงรำนีวยอร์กเกอร์ซึ่งสร้างในปี ค.ศ. 1929 ได้สร้างโรงไฟฟ้า DC เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าและยกเลิกในปี ค.ศ. 1960 ลูกค้าประมาณ 4600 รายยกเลิกการใช้ไฟ DC เพิ่มเติมในปี ค.ศ. 1998 พบว่ามีลูกค้าผู้ใช้ไฟ DC เหลืออยู่จำนวน 60 คน ในปี ค.ศ. 2006 และยกเลิกการใช้ทั้งหมดในปี ค.ศ. 2007

ปัจจุบันระบบไฟ DC ยังคงมีใช้งานกันสำหรับโหลดหลายประเภท เช่น

- ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ภายในบ้านและสำนักงาน โดยอาศัยแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่หรืออาศัยวงจรอินเวอร์เตอร์ในการแปลงแรงดันจากแหล่งจ่าย AC ไปเป็น DC
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในอุตสาหกรรมของเล่น เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่
- ระบบแบตเตอรี่ในรถยนต์ ระบบพลังงานสำหรับระบบสื่อสารและในระบบสำรองไฟฉุกเฉิน
- แบตเตอรี่ในระบบแปลงผันและสะสมพลังงาน

นอกจากที่กล่าวมาแล้วระบบ HVDC ยังคงใช้สำหรับการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกลๆ ข้ามมหาสมุทร เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่าระบบ AC การเชื่อมต่อระบบ

ไฟฟ้าสองระบบที่มีความถี่ไม่เท่ากัน และในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า AC บางส่วนก็ยังคงใช้ไฟ DC จากแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายโหลดโดยตรง เป็นต้น



รูปที่ 7 ระบบผลิต ระบบส่ง และจำหน่ายไฟฟ้า [32]

6. การกำกับดูแลกิจการไฟฟ้า

กิจการไฟฟ้า ภายหลังจากที่ระบบไฟฟ้า AC ได้ถือกำเนิดก่อนที่จะมีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง แบ่งได้ออกเป็น 3 ยุค ดังนี้

- **ยุคเริ่มต้น** [32] ระบบไฟฟ้าในยุคเริ่มต้นมีลักษณะเป็นกลุ่มย่อยดังที่ได้อธิบายไปแล้ว เมื่อดำเนินงานประสบปัญหาด้านความเชื่อถือได้ต่ำ จึงมีการวางแผนระบบให้มีการเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายเพื่อให้สามารถใช้กำลังไฟฟ้าสำรองจากระบบอื่นได้ในสภาวะจำเป็น แต่ยังไม่มีการดำเนินงานโดยบริษัทเอกชน ยุคนี้ใช้เวลาระหว่าง ค.ศ. 1890 – 1930 โดยในอเมริกา ประเทศในยุโรป และประเทศอื่นๆ มีจุดเริ่มต้นในการพัฒนาที่แตกต่างกัน ก่อนที่จะเปลี่ยนรูปแบบการจัดการเข้าสู่ยุคต่อไป

- **ยุคที่กำกับดูแลโดยรัฐบาลกลาง** [34 – 35] เมื่อกิจการพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญมากขึ้น ต้องการการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จนถูกยกเป็นงานระดับความมั่นคงของชาติรัฐบาลกลางจึงเข้ามามีบทบาท ยุคนี้ใช้เวลาระหว่าง ค.ศ. 1930 – 1970

- **ยุคที่มีการแปรรูปอุตสาหกรรมไฟฟ้า** [36 – 39] หลังปี ค.ศ. 1970 มีความต้องการให้กิจการไฟฟ้าออกจากรัฐบาลกลาง โดยใช้ให้ผลของการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยคาดหวังว่าการแข่งขันจะสามารถทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน เช่น เปลี่ยนรูปแบบการไฟฟ้าของรัฐบาลให้เป็นรัฐวิสาหกิจ มีผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent

Power Producer: IPP) และผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) เข้ามาในธุรกิจผลิตไฟฟ้า หรือเปลี่ยนโครงสร้างกิจการไฟฟ้าให้เป็นแบบตลาดซื้อขายกลาง (power pool) หรือระบบ NETA (New Electricity Trading Arrangement) อย่างในประเทศอังกฤษ เป็นต้น โดยเป้าหมายของการแปรรูป คือ การทำให้พลังงานไฟฟ้าเป็นสินค้าที่สามารถซื้อขายได้ตามกลไกการตลาด ผลที่ได้รับคือราคาค่าพลังงานไฟฟ้ามีราคาไม่คงที่ ขึ้นกับอุปสงค์และอุปทานในตลาด ผลกระทบจากการแปรรูปอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า (electric supply industry restructuring) ทำให้การวางแผนดำเนินงานระบบมีความซับซ้อนมากกว่าระบบที่มีการวางแผนและควบคุมแบบรวมยอด (vertically integrated system) มาก ถึงแม้องค์ประกอบหลักของการผลิต ส่ง และจ่ายไฟฟ้าของระบบจะยังเหมือนเดิม แต่เป้าหมายการควบคุมและขั้นตอนการจัดการนั้นแตกต่างกัน รายละเอียดจะได้กล่าวถึงในบทความฉบับที่สองและสามต่อไป

เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนวิวัฒนาการของระบบไฟฟ้า จะได้อีกตัวอย่างพัฒนาการระบบไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อเป็นกรณีศึกษาดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

7. พัฒนาการระบบไฟฟ้าในประเทศไทย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพัฒนาการของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ตลอดจนทิศทางการแปรรูปกิจการไฟฟ้า ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [40 – 42]

7.1 การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

ประเทศไทยเริ่มมีไฟฟ้าใช้เป็นครั้งแรกเพื่อใช้สำหรับระบบแสงสว่างในมหาราชวัง ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ในปี ค.ศ. 1884 ก่อนที่จะขยายตัวออกสู่บ้านเจ้านายชั้นสูงและภายนอกให้ประชาชนทั่วไปในภายหลัง จนมีโรงไฟฟ้าสองแห่งคือโรงไฟฟ้าวัดเลียบและโรงไฟฟ้าสามเสน ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าชนิดพลังไอน้ำ ใช้ไม้ฟืน ถ่านหิน น้ำมัน และกลายเป็นเชื้อเพลิง ก่อนกลายมาเป็นการไฟฟ้านครหลวงในปี ค.ศ. 1958 รับผิดชอบการจำหน่ายไฟฟ้าในเขตกรุงเทพฯ ธนบุรี นนทบุรี และสมุทรปราการ สำหรับกิจการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เริ่มครั้งแรกที่จังหวัดนครปฐมในปี ค.ศ. 1930 แล้วจึงขยายตัวไปสู่จังหวัดต่างๆ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1954 รัฐบาลจึงได้จัดตั้งองค์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อรับผิดชอบดำเนินการไฟฟ้าในส่วนภูมิภาค และในปี ค.ศ. 1960 ได้จัดตั้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขึ้นอย่างเป็นทางการ แทนองค์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำให้กิจการไฟฟ้าได้ขยายตัวอย่างแท้จริงสู่ต่างจังหวัด โดยระบบไฟฟ้าในตอนนั้นเป็นระบบไฟ AC ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลระบบจำหน่ายแรงสูง 3.5 kV และ แรงต่ำ 380/220 V

ระบบผลิตไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นนั้นส่วนใหญ่จะเป็นโรงไฟฟ้าดีเซล โดยมีโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซจำนวนน้อย กำลังการผลิตไฟฟ้าไม่สูงมาก จึงสามารถจ่ายโหลดได้เป็นกลุ่มย่อย เฉพาะพื้นที่ชุมชนของอำเภอและจังหวัด โดยในตอนแรกมีทั้งที่ดำเนินงานโดยเอกชนและรัฐบาล ซึ่งต่อมาภายหลังรัฐบาลเล็งเห็นถึงความจำเป็นของพลังงานไฟฟ้า จึงได้จัดตั้งหน่วยงานขึ้นมากำกับดูแลให้เป็นกิจการของรัฐและรัฐวิสาหกิจ

7.2 การไฟฟ้าฝ่ายผลิต

ในช่วงเวลาที่ระบบไฟฟ้าย่อยได้พัฒนาสู่ภูมิภาค รัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญและเริ่มวางแผนพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่เพื่อเชื่อมโยงเป็นโครงข่าย โดยมีเหตุการณ์สำคัญดังนี้

- ปี ค.ศ. 1951 จัดตั้ง “คณะกรรมการพิจารณาสร้างโรงไฟฟ้าทั่วราชอาณาจักร” และได้เปลี่ยนมาเป็น “สำนักงานพลังงานแห่งชาติ” ในปี ค.ศ. 1953 ปัจจุบันคือสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- ปี ค.ศ. 1954 จัดตั้ง “องค์การพลังงานไฟฟ้าลิกไนต์” ต่อมาคือ “การลิกไนต์” ในปี ค.ศ. 1960 รับผิดชอบผลิต

และจำหน่ายกระแสไฟฟ้าในภาคใต้ โดยได้ก่อสร้างโรงไฟฟ้ากระบี่ ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากการทำเหมืองลิกไนต์มาเป็นเชื้อเพลิง สามารถเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าได้ในปี ค.ศ. 1964 และได้เชื่อมโยงสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจากโรงไฟฟ้ากระบี่ไปยังจังหวัดใกล้เคียงอีก 7 จังหวัด

- ปี ค.ศ. 1957 จัดตั้ง “การไฟฟ้ายันฮี” รับผิดชอบการผลิตไฟฟ้าให้ภาคกลางกับภาคเหนือ โดยได้ก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำขนาด 75 MW ขึ้นที่อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี เริ่มเดินเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในปี ค.ศ. 1961 ปัจจุบันคือโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ โดยมีการเชื่อมโยงไฟฟ้าแรงสูงกับโรงไฟฟ้าสามเสน ในขณะที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนภูมิพลก่อสร้างและเชื่อมโยงระบบแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 1964

- ปี ค.ศ. 1959 การลิกไนต์ ได้ก่อสร้างโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่จังหวัดลำปาง ขนาด 6.25 MW จำนวน 2 เครื่อง แล้วเสร็จ โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง และเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าในจังหวัดด้วยสายส่งที่แรงดัน 69 kV ต่อมาได้ต่อเชื่อมสายส่งไฟฟ้าไปยังเขื่อนภูมิพล จังหวัดลำพูน และจังหวัดเชียงใหม่

- ปี ค.ศ. 1962 จัดตั้ง “การไฟฟ้าตะวันออกเฉียงเหนือ” ขึ้นเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พร้อมก่อสร้างเขื่อนอุบลรัตน์ ที่จังหวัดขอนแก่นและเขื่อนน้ำพุงที่จังหวัดสกลนคร

- ปี ค.ศ. 1962 จัดตั้ง “การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย” โดยรวมเอา การลิกไนต์ การไฟฟ้ายันฮี และการไฟฟ้าตะวันออกเฉียงเหนือไว้เป็นหน่วยงานเดียวกัน มีหน้าที่ในการผลิตและส่งไฟฟ้าให้แก่ การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1962 เป็นต้นมากิจการของการไฟฟ้าทั้งสามแห่งได้เริ่มชัดเจนขึ้นดังนี้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตมีหน้าที่ดำเนินการวางแผนและควบคุมระบบไฟฟ้าให้มีความมั่นคง โดยการสรรหาแหล่งพลังงานเพื่อให้เกิดความพอเพียง เช่น การก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ หรือ เพิ่มหน่วยผลิตจากโรงไฟฟ้าเดิม รวมถึงควบคุมระบบไฟฟ้าให้กำลังการผลิตสมดุลกับโหลด ณ เวลาจริง ในช่วงวิกฤติการณ์ราคาน้ำมันระหว่างปี ค.ศ. 1973 – 1986 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ปรับตัวผลิตไฟฟ้าด้วยระบบโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (combined cycle) ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอีกประการคือการแปรรูปธุรกิจผลิตไฟฟ้างดงามได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป การดำเนินงานของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

เช่น การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำหน้าที่คนกลางรับซื้อไฟจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เพื่อขายต่อให้แก่ลูกค้า รวมถึงการดูแลรักษาระบบให้มีความเชื่อถือได้ และให้บริการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดเหตุขัดข้องต่างๆ ควบคู่กับการวางแผนพัฒนาและปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพเมืองใหญ่ (urban electrification) และเน้นการเข้าถึงไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในชนบทที่อยู่ห่างไกล (rural electrification) ตามพื้นที่รับผิดชอบ

7.3 การแปรรูปการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

การแปรรูปกิจการไฟฟ้า หมายถึง การดำเนินการเพื่อให้พลังงานไฟฟ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถซื้อขายได้ตามกลไกตลาดในระบบทุนนิยม ในทางปฏิบัติดำเนินการโดยเปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในกิจการด้านการสรรหาพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิต และจำหน่ายไฟฟ้า การควบคุมและดำเนินการระบบทำโดยหน่วยงานกลางเพื่อให้เกิดความยุติธรรม ความมั่นคงและเสถียรภาพ รูปแบบการแปรรูปที่เปิดโอกาสให้เอกชนเข้าร่วมในแต่ละประเทศจะดำเนินการไม่เหมือนกัน ประเทศไทยเริ่มต้นการแปรรูปในยุครัฐบาล พลเอกชาติชาย ชุณหะวัณ โดยกำหนดให้มีโครงการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP) เป็นโครงการนำร่อง เพื่อให้เอกชนที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 90 MW สามารถขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ ถึงปัจจุบันโครงการ IPP ได้ดำเนินการมาแล้วสามเฟสด้วยกัน ดังนี้

- เฟสแรกปี ค.ศ. 1996 - 2000 จำนวน 1,750 MW
- เฟสที่สองปี ค.ศ. 2000 - 2003 จำนวน 4,927.5 MW
- เฟสที่สามตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 จำนวน 4,400 MW

ในส่วนของการแปรรูปที่ลงรายละเอียดลึกลงไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทยยังไม่ได้มีการกล่าวถึง จะมีก็เพียงความพยายามที่จะแปรรูประบบผลิตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยให้เป็นตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า แต่ก็ถูกระงับด้วยคำสั่งศาลปกครองสูงสุดว่าความพยายามในการดำเนินการดังกล่าวไม่ชอบด้วยกฎหมาย

8. บทเรียนสำคัญ

- การพัฒนาระบบไฟฟ้าในตอนเริ่มต้น ทั้งระบบไฟฟ้า DC และ AC ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญ

หลากหลายสาขา ถึงกระนั้นความสำเร็จที่เกิดขึ้นจะค่อยเป็นค่อยไป

- ข้อเหมือนกันของ ฟาราเดย์ และ เอดิสันคือทั้งคู่เป็นนักวิทยาศาสตร์ นักทดลองที่มีความพยายามอุตสาหะและวิสัยทัศน์ ฟาราเดย์เป็นคนจุดประกายให้แมกซ์เวลล์พัฒนาทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จนกระทั่งพบคำตอบที่ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ฟาราเดย์ในบั้นปลายเสียชีวิตอย่างสงบ เช่นเดียวกันถ้าเอดิสันไม่ยึดมั่นกับระบบไฟฟ้า DC ที่เขาพัฒนาขึ้นมากไป อาจทำให้เขายอมรับแนวคิดของเทสลาตั้งแต่ต้น บริษัทของเวสต์อิงโกลอาจจะไม่ผุดขึ้นมาแทนที่บริษัทของเอดิสัน สิ่งหนึ่งที่สะท้อนให้เห็นได้ในบทความนี้คือถึงแม้ทั้งคู่มีพื้นฐานการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ในระดับต้นแต่ก็อาศัยวิสัยทัศน์ที่กว้างไกลมาชดเชยจนประสบผลสำเร็จ

- ตอนเริ่มต้นพัฒนาระบบไฟฟ้า AC เทสลาต้องอาศัยเงินทุนจากเวสต์อิงโกลในขณะที่ฝ่ายหลังเห็นโอกาสในทางธุรกิจความร่วมมือของทั้งคู่จึงเป็นไปได้ด้วยดี แต่ในบั้นปลายของเทสลามีความต้องการพัฒนางานด้านวิศวกรรมที่ตอบสนองความต้องการส่วนตัวทำให้เทสลาและบรรดานายทุนมีแนวคิดสวนทางกันอย่างรุนแรง

- และในตอนเริ่มต้นที่เทสลาแสดงวิสัยทัศน์ในการพัฒนาระบบไฟฟ้า AC นั้นชัดเจนมากกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจะต่ำกว่าระบบไฟฟ้าแบบ DC โดยมองข้ามอุปสรรคย่อย เช่น อันตรายของไฟฟ้า AC ที่สามารถทำอันตรายสิ่งมีชีวิตจนถึงแก่ชีวิตได้ง่ายกว่า DC ซึ่งต่อมาจึงมีการพัฒนาระบบสายดินขึ้นมาจากหลังทำให้ระบบไฟฟ้า AC มีความปลอดภัยมากขึ้น

- พัฒนาการของระบบไฟฟ้า AC นั้นเป็นไปในทิศทางที่สามารถกล่าวได้ว่ายิ่งระบบใหญ่ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยยิ่งถูกลง มุมมองดังกล่าวอยู่บนสมมติฐานที่ว่าระบบสามารถควบคุมได้อย่างปกติ แต่จากการที่ระบบไฟฟ้า AC มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การควบคุมดำเนินการระบบเพื่อรักษาระบบให้ยังคงมีเสถียรภาพ ความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในระดับสูง มีความยุ่งยากซับซ้อนตามมา ซึ่งความซับซ้อนของการควบคุมระบบไฟฟ้า AC จะได้กล่าวถึงในบทความฉบับที่สอง

- ระบบไฟฟ้ายุคเริ่มต้นเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถจ่ายโหลดกลุ่มย่อยซึ่งมีลักษณะคล้ายกับระบบไฟฟ้าแบบไมโครกริด ที่มีการวิจัยกันอย่างกว้างขวางใน

ปัจจุบัน จะแตกต่างกันเพียงแค่เทคโนโลยีที่ใช้ควบคุมระบบในยุคแรกนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนา ต่างจากในปัจจุบันซึ่งเทคโนโลยีที่พัฒนาสำหรับระบบไมโครกริดนั้นมีพื้นฐานความรู้มาจากสหสาขาวิทยาการ เช่น องค์ความรู้ในการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน รวมถึงโหลดทางไฟฟ้าก็ได้มีการพัฒนาให้มีความทันสมัยมากขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์และวงจรรวม จนมีคุณสมบัติแตกต่างมากกว่าในอดีตที่มีเพียงมอเตอร์และระบบแสงสว่าง

9. บทสรุป

บทความวิชาการนี้กล่าวถึงวิวัฒนาการของระบบไฟฟ้ากำลัง ที่ถึงแม้จะมีการพัฒนาปรับปรุงระบบให้มีความมั่นคงและความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น แต่ก็มีเรื่องของธุรกิจเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบ ยิ่งในปัจจุบันมีการใช้พลังงานในหลายแนวทาง สำหรับการผลิตสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองต่อความต้องการยกระดับคุณภาพชีวิตของมนุษย์ให้ดีขึ้น ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงกลายเป็นเรื่องความมั่นคงทั้งในระดับส่วนบุคคลและระดับประเทศ ในขณะเดียวกันทิศทางการพัฒนาระบบก็มีส่วนของธุรกิจเข้ามาเกี่ยวข้อง ผู้วางแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าจึงต้องหาความลงตัวของการพัฒนาระบบให้มีความยั่งยืนในสภาพการแข่งขันทางธุรกิจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Hatziaargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Mamay, 2007. Microgrids: An overview of ongoing research, development, and demonstration projects. IEEE Power and Energy Magazine. Volume 5, no 4, 78 - 94.
- [2] T. F. Garrity. 2008. Getting smart. IEEE Power and Energy Magazine. Volume 6, no. 2, 38 - 45.
- [3] Kahrobaeian A., Mohamed Y.A.-R.I. 2012. Interactive distributed generation interface for flexible micro-grid operation in smart distribution systems. IEEE Transactions on Sustainable Energy. Volume 3, Issue 2, April, 295 - 305.
- [4] Mohamed Y.A. - R.I., Radwan A.A. 2011. Hierarchical control system for robust microgrid operation and seamless mode transfer in active distribution systems. IEEE Transactions on Smart Grid. Volume 2, Issue 2, 352 - 362.
- [5] Lasseter R.H.. 2011. Smart distribution: coupled microgrids. Proceedings of the IEEE. Volume 99, Issue 6, 1074 - 1082.
- [6] Naderi E., Seifi H., Sepasian M.S. 2012. A dynamic approach for distribution system planning considering distributed generation. IEEE Transactions on Power Delivery. Volume 27, Issue 3, 2012, 1313 - 1322.
- [7] Meliopoulos A.P.S., Cokkinides G., Renke Huang, Farantatos E., Sungyun Choi, Yonghee Lee, Xuebei Yu. 2011. Smart grid technologies for autonomous operation and control. IEEE Transactions on Smart Grid. Volume 2, Issue 1, 1 - 10.
- [8] Salehi V., Mohamed A., Mazloomzadeh A., Mohammed O.A. 2012. Laboratory-based smart power system, part I: Design and system development. IEEE Transactions on Smart Grid. Volume 3, Issue 3, 1394 - 1404.
- [9] <http://www.thailandsmartgrid.com/>. Access: 15 Sep. 2013.
- [10] <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/> Access: 1 Jun. 2013.
- [11] <http://www.smartgrid.gov/> Access: 1 Jun. 2013.
- [12] <http://www.smartgrids.eu/> Access: 15 Sep. 2013.
- [13] <http://www.smartgridnews.com/> Access: 15 Sep. 2013.
- [14] <http://161.200.85.41/pea-smartgrid/> Access: 15 Sep. 2013.
- [15] <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/Events/SmartGridEurope/Pages/Default.aspx?stc=wwzsg120044/> Access: 15 Sep. 2013.
- [16] Electricity [online]. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity/> Access: 15 Sep. 2013.
- [17] Michael Faraday [online]. Available from

- http://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday/
Access: 15 Sep. 2013.
- [18] Joseph Henry [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Henry
Access: 15 Sep. 2013.
- [19] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSM_V17_D008_James_Clerk_Maxwell.jpg Access: 15 Sep. 2013.
- [20] History of electrical engineering [online]. Access: 15 Sep. 2013. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_electrical_engineering.
- [21] History of electromagnetic theory [online]. Access: 15 Sep. 2013. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_electromagnetic_theory.
- [22] Albert Einstein [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Albert_einstein
Access: 15 Sep. 2013.
- [23] Relativity theory [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Relativity_theory
Access: 15 Sep. 2013.
- [24] Power system [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Power_system
Access: 15 Sep. 2013.
- [25] <http://fineartamerica.com/featured/the-dynamo-room-in-the-first-edison-everett.html> Access: 15 Sep. 2013.
- [26] Thomas Edison [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Edison
Access: 15 Sep. 2013.
- [27] War of currents [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/War_of_Currents/
Access: 15 Sep. 2013.
- [28] Taylor C. W., *Power System Voltage Stability*. McGraw-Hill 1994.
- [29] Nikola Tesla [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla/
Access: 15 Sep. 2013.
- [30] <http://i2.listal.com/image/4115980/600full-nikola-tesla.jpg> Access: 15 Sep. 2013.
- [31] <http://explorepanhistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-14DB> Access: 15 Sep. 2013.
- [32] History of electric power transmission [online]. Access: 15 Sep. 2013. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_electric_power_transmission/
- [33] Electricity Generation [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_generation
Access: 15 Sep. 2013.
- [34] Power Grid [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Power_grid Access: 15 Sep. 2013.
- [35] Electrical Grid [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid
Access: 15 Sep. 2013.
- [36] Electricity Market [online]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_market
Access: 15 Sep. 2013.
- [37] Shreffins A., 2002, "California power crisis: Failure of market design or regulation," IEEE Power Engineering Review, Volume 22, No. 8, 8 - 11.
- [38] Shahidehpour M., Yamin H., and Li Z., *Market Operations in Electric Power Systems*. Copyright 2002, John Wiley & Sons Inc.
- [39] Lai L. L., *Power System Restructuring and Deregulation*. Copyright 2001, John Wiley & Sons Inc.
- [40] http://www.pea.co.th/th/about/aboutPEA_history.htm/ Access: 15 Sep. 2013.
- [41] http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=category&id=147&layout=blog&Itemid=682/ Access: 15 Sep. 2013.
- [42] <http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=2&mid=96&pid=91/> Access: 15 Sep. 2013.