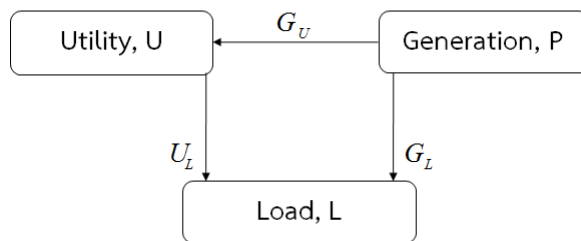


บทที่ 2

ทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน



รูป 2.1 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

แบบจำลองทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน แสดงดังรูป 2.1 สามารถเขียนสมดุลกำลังไฟฟ้าและขีดจำกัดต่างๆ ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Generating power, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด แสดงดังสมการที่ (1)

$$P = G_U + G_L \quad (1)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load power, L) เท่ากับปริมาณ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยัง โหลด แสดงดังสมการที่ (2)

$$L = G_L + U_L \quad (2)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย (Importing power, I) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด แสดงดังสมการที่ (3)

$$I = U_L \quad (3)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย (Exporting power, E) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย แสดงดังสมการที่ (4)

$$E = G_U \quad (4)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of power system) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย แสดงดังสมการที่ (5)-(6)

$$P + I = L + E \quad (5)$$

$$(G_U + G_L) + (U_L) = (G_L + U_L) + (G_U) \quad (6)$$

ขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้า (Generation limits) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับกำลังผลิตต่ำสุด และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังผลิตสูงสุด แสดงดังสมการที่ (7) [13]

$$Z_{G,t} P^{\min} \leq G_{L,t} + G_{U,t} \leq Z_{G,t} P^{\max} \quad (7)$$

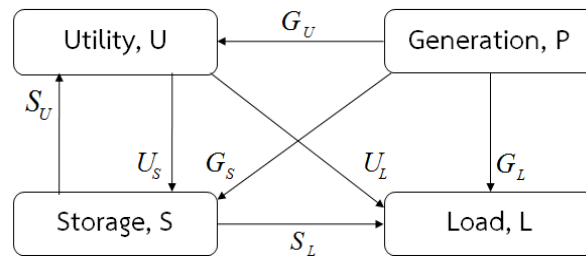
ขีดจำกัดของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย (Importing limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (8) [13]

$$0 \leq U_{L,t} \leq I^{\max} \quad (8)$$

ขีดจำกัดของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย (Exporting limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่ายได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (9) [13]

$$0 \leq G_{U,t} \leq E^{max} \quad (9)$$

2.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน



รูป 2.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

แบบจำลองทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน แสดงดังรูป 2.2 สามารถเขียนสมดุลกำลังไฟฟ้าและขีดจำกัดต่างๆ ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Generating power, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน แสดงดังสมการที่ (10)

$$P = G_U + G_L + G_S \quad (10)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load power, L) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด แสดงดังสมการที่ (11)

$$L = G_L + S_L + U_L \quad (11)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายไฟฟ้า (Importing power, I) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน แสดงดังสมการที่ (12)

$$I = U_L + U_S \quad (12)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้า (Exporting power, E) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่าย แสดงดังสมการที่ (13)

$$E = G_U + S_U \quad (13)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการอัดประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่ (Charging power, C) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน แสดงดังสมการที่ (14)

$$C = G_S + U_S \quad (14)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการคายประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่ (Discharging power, D) เท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด แสดงดังสมการที่ (15)

$$D = S_U + S_L \quad (15)$$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of power system) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย แสดงดังสมการที่ (16)

$$P + D + I = L + C + E \quad (16)$$

ขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้า (Generation limits) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับกำลังผลิตต่ำสุด และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังผลิตสูงสุด แสดงดังสมการที่ (17) [13]

$$Z_{G,t}P^{min} \leq G_{L,t} + G_{S,t} + G_{U,t} \leq Z_{G,t}P^{max} \quad (17)$$

ขีดจำกัดของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย (Importing limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (18) [13]

$$0 \leq U_{L,t} + U_{S,t} \leq I^{max} \quad (18)$$

ขีดจำกัดของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย (Exporting limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่ายได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (19) [13]

$$0 \leq G_{U,t} + S_{U,t} \leq E^{max} \quad (19)$$

ขีดจำกัดของการอัดประจุไฟฟ้า (Charging power limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่อัดประจุได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (20) [13]

$$0 \leq \alpha G_{S,t} + \alpha U_{S,t} \leq Z_{C,t}C^{max} \quad (20)$$

ขีดจำกัดของการคายประจุไฟฟ้า (Discharging power limit) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่คายประจุได้สูงสุด แสดงดังสมการที่ (21) [13]

$$0 \leq (1/\beta)S_{L,t} + (1/\beta)S_{U,t} \leq Z_{D,t}D^{max} \quad (21)$$

ขีดจำกัดของการกักเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ (Storage energy limits) แสดงดังสมการที่ (22)-(24) [13]

$$S^{\min} \leq S_o \leq S^{\max} \quad (22)$$

$$S^{\min} \leq S_t \leq S^{\max} \quad (23)$$

$$S^{\min} \leq \gamma h_{t-1} S_{t-1} + h_t [\alpha G_{S,t} + \alpha U_{S,t} - (1/\beta) S_{L,t} - (1/\beta) S_{U,t}] \leq S^{\max} \quad (24)$$

ข้อจำกัดสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery state constraints) แสดงดังสมการที่ (25) [13]

$$Z_C + Z_D \leq 1 \quad (25)$$

ตาราง 2.1 สถานะการทำงานของแบตเตอรี่

Z_C : Charging status	Z_D : Discharging status	State
1	0	Charge
0	1	Discharge
0	0	Idle

เมื่อ	G_U	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย (เมกะวัตต์)
	G_L	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด (เมกะวัตต์)
	G_S	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน (เมกะวัตต์)
	U_L	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด (เมกะวัตต์)
	U_S	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน (เมกะวัตต์)
	S_U	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่าย (เมกะวัตต์)
	S_L	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด (เมกะวัตต์)
	Z_G	คือ สถานะการผลิตกำลังไฟฟ้า {0, 1}
	Z_C	คือ สถานะการอัดประจุไฟฟ้า {0, 1}
	Z_D	คือ สถานะการคายประจุไฟฟ้า {0, 1}
	$P^{\min}$	คือ ขอบเขตการผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำสุด (เมกะวัตต์)
	$P^{\max}$	คือ ขอบเขตการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์)

- I^{max} คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายได้สูงสุด (เมกะวัตต์)
- E^{max} คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่ายได้สูงสุด (เมกะวัตต์)
- C^{max} คือ กำลังไฟฟ้าที่อัดประจุได้สูงสุด (เมกะวัตต์)
- D^{max} คือ กำลังไฟฟ้าที่คายประจุได้สูงสุด (เมกะวัตต์)
- α คือ ประสิทธิภาพในการอัดประจุของแบตเตอรี่ (Charging efficiency)
มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
- β คือ ประสิทธิภาพในการคายประจุของแบตเตอรี่ (Discharging efficiency)
มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
- γ คือ ค่าตัวประกอบการสูญเสียจากการกักเก็บพลังงานในแบตเตอรี่
(Storage loss factor) มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
- S_o คือ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกกักเก็บตอนเริ่มต้น (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
- S_t คือ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกกักเก็บตอนสุดท้าย (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
- S^{min} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกกักเก็บได้ต่ำสุด (เมกะวัตต์ชั่วโมง)
- S^{max} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกกักเก็บได้สูงสุด (เมกะวัตต์ชั่วโมง)