

	แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	คาบรวม 6 คาบ
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ
หัวข้อเรื่อง 1. สายตัวนำร่วม 2. คาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม สาระสำคัญ ในการส่งแรงดันไฟฟ้าระดับสูง ๆ แทนที่จะใช้สายตัวนำขนาดใหญ่ 1 เส้น ต่อเฟส ก็จะใช้สายตัวนำที่เป็นสายย่อย 2 เส้น หรือมากกว่าแทน สายส่งประเภทนี้ว่าสายตัวนำร่วม การส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วมจะทำให้ลดค่าพารามิเตอร์ในทางไฟฟ้าลง และเพิ่มค่าวิกฤติของโคโรน่าด้วย เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าลดลง หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งไฟฟ้านั่นเอง จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเรื่อง สายตัวนำร่วม สาเหตุของการส่งกำลังไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วมและผลที่ได้จากการส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม การคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ของการส่งกำลังไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ 1. อธิบายการส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วมได้ 2. คำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วมได้		

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าค่าปาดันซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ

$$= 5.532 \times 10^{-6} \text{ S/mile}$$

$$(c) \quad S = \sqrt{3} \times 12.47 \times 200 = 4319 \text{ kVA}$$

4 กอนดักแตนซ์

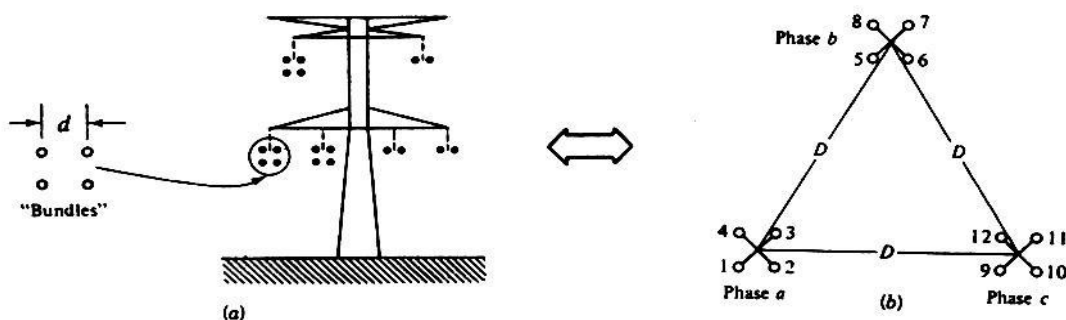
(Conductance ; G)

กอนดักแตนซ์ของสายตัวนำเป็นพารามิเตอร์ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (leakage current) ที่ฉนวน เช่น ฉนวนของลูกถ้วย เป็นต้น กอนดักแตนซ์มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทาน อินดักแตนซ์ และค่าปาดันซ์ของสายตัวนำ ดังนั้น ในการคำนวณค่าต่างๆ ของระบบการส่งกำลังไฟฟ้าจึงไม่นำค่ากอนดักแตนซ์มาร่วมพิจารณาหรือมักกำหนดให้กอนดักแตนซ์ของสายส่งมีค่าเท่ากับศูนย์

7 สายตัวนำร่วม

(Bundle Conductor)

ในการส่งแรงดันไฟฟ้าระดับสูง (345 kV หรือสูงกว่า) แทนที่จะใช้สายตัวนำขนาดใหญ่ 1 เส้นต่อเฟส ก็จะใช้สายตัวนำที่เป็นสายย่อย 2 เส้น หรือมากกว่าแทน (ดังรูป 1-31) สายส่งประเภทนี้เรียกว่า “สายตัวนำร่วม”



รูปที่ 1-31

ข้อดีของการใช้สายตัวนำร่วมมีดังนี้

1. ลดค่าอินดักติฟ รีแอกแตนซ์ของสาย
2. เพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าวิกฤติของโคโรนา (รายละเอียดดูบทที่ 4) ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากการเกิดโคโรนาลดต่ำลง

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าค่าปาริแดนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ

3. ส่งกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น

4. ระบายความร้อนในสายได้ดี และความต้านทานของสายลดลง

ข้อเสียของการใช้สายตัวนำร่วมมีดังนี้

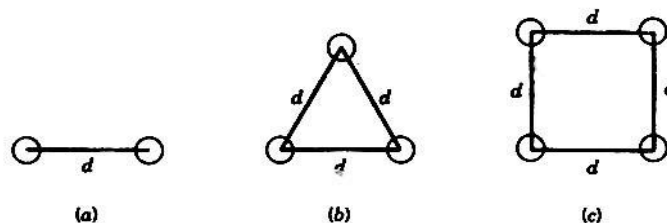
1. มีปัญหาเกี่ยวกับการปะทะของแรงลมเพิ่มมากขึ้น
2. โครงสร้างของสายตัวนำซับซ้อนมากขึ้น
3. ต้องใช้ฉนวนหุ้มสายเพิ่มขึ้น
4. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเพิ่มขึ้น

เนื่องจากโครงสร้างในการวางตัวของสายตัวนำย่อย (subconductor) ในแต่ละเฟสของสายตัวนำร่วมจะแตกต่างจากสายตัวนำเดี่ยว ดังนั้น ในการหาค่า L และ C ของสายส่งประเภทนี้จึงต้องคำนึงถึง

- GMD ร่วมระหว่างเฟสที่วัดจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มตัวนำ (D_m)
- GMD ร่วมระหว่างสายตัวนำย่อยของแต่ละเฟส (D_b)

ค่า D_b ที่ใช้ในการหาค่า L (กำหนดให้เป็น D_{bL}) และค่า D_b ที่ใช้ในการหาค่า C (กำหนดให้เป็น D_{bC}) จะแตกต่างกันดังนี้คือ

อันดับค่านัยของสายตัวนำร่วม



รูปที่ 1-32

จากรูป 1-32 a แสดงให้เห็นสายตัวนำร่วมเพียง 1 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 2 สาย

$$D_{bL} = \sqrt{GMR \times d} \quad \dots\dots\dots (1-80)$$

จากรูป 1-32 b แสดงให้เห็นสายตัวนำร่วมเพียง 1 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 3 สาย

$$D_{bL} = \sqrt[3]{GMR \times d^2} \quad \dots\dots\dots (1-81)$$

จากรูป 1-32 c แสดงให้เห็นสายตัวนำร่วมเพียง 1 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 4 สาย

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ

$$D_{bL} = 1.09 \sqrt[3]{GMR \times d^3} \quad \dots\dots\dots (1-82)$$

เมื่อ d = ระยะห่างระหว่างตัวนำของสายตัวนำร่วม (พิจารณารูป 1-32)

ค่าอินดักแตนซ์ที่ได้จากกรณีของสายตัวนำร่วมจะเป็นอินดักแตนซ์เฉลี่ย (L_a) ซึ่งหาได้จาก

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_{bL}} \quad \text{H/m} \quad \dots\dots\dots (1-83)$$

การหาค่า D_m ในสมการ 1-83 จะทำได้เช่นเดียวกับการหาค่า D_m ของสายส่ง 3 เฟสทั่วไป ดังนั้น D_m ในรูป 1-31 b จึงเป็น

$$D_m = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} \quad \dots\dots\dots (1-84)$$

คาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม

สายตัวนำร่วมที่แต่ละเฟสประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 2 สาย (รูป 1-32 a)

$$D_{bc} = \sqrt{rd} \quad \dots\dots\dots (1-85)$$

สายตัวนำร่วมที่แต่ละเฟสประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 3 สาย (รูป 1-32 b)

$$D_{bc} = \sqrt[3]{r^2 d} \quad \dots\dots\dots (1-86)$$

สายตัวนำร่วมที่แต่ละเฟสประกอบด้วยสายตัวนำย่อย 4 สาย (รูป 1-32 c)

$$D_{bc} = 1.09 \sqrt[3]{rd^3} \quad \dots\dots\dots (1-87)$$

คาปาซิแตนซ์จากสายถึงนิวทรัลของสายตัวนำร่วมหาค่าได้ดังนี้

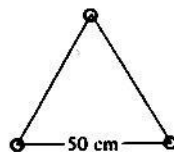


	แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าค่าปาดันซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ

$$C_n = \frac{2\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln (D_m/D_{bc})} \quad \text{F/m} \quad \dots\dots\dots (1-88)$$

ตัวอย่างที่ 1-16

จากรูป 1-33 เป็นสายตัวนำร่วมที่แสดงให้เห็นเพียง 1 เฟส ถ้า $GMR = 1.56 \text{ cm}$ จงหาค่า D_{bL}



รูปที่ 1-33

วิธีทำ

จากสมการ 1-81

$$\begin{aligned} D_{bL} &= \sqrt[3]{GMR \times d^2} \\ &= \sqrt[3]{1.56 \times (50)^2} = 15.74 \text{ cm} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1-17

จากรูป 1-34 แสดงให้เห็นสายตัวนำร่วม 3 เฟส ตัวนำที่ใช้เป็น ACSR ขนาด 1113 kcmil มีค่า $GMR = 0.0435 \text{ ft}$ ถ้า $d = 1 \text{ ft}$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายตัวนำย่อย 1.293 inc มีระยะห่าง D_{12} , D_{23} และ D_{31} เป็น 26, 26 และ 52 ft ตามลำดับ จงหาค่าต่อไปนี้ที่ความถี่ 60 Hz

- อินดักแตนซ์เฉลี่ยต่อเฟส เป็น H/m
- อินดักแตนซ์ต่อเฟส เป็น Ω/km และเป็น Ω/mile
- ค่าปาดันซ์จากสายถึงนิวทรัล เป็น F/m
- ค่าปาดิตีฟ รีแอกแตนซ์จากสายถึงนิวทรัล เป็น Ω/km และเป็น Ω/mile



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6

ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008

ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม

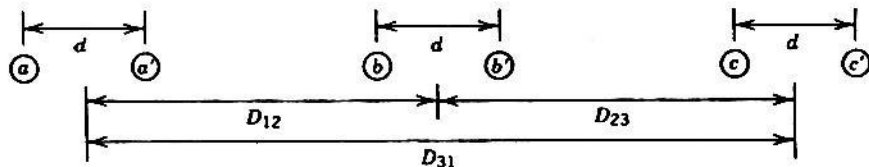
หน่วยที่ 6

สอนครั้งที่ 10

ใบความรู้ที่ 6

ชื่อเรื่อง การหาค่าค่าปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม

จำนวนคาบ 3 คาบ



รูปที่ 1-34

วิธีทำ

(a) จากสมการ 1-80 และสมการ 1-84

$$\begin{aligned}
 D_{bL} &= \sqrt{GMR \times d} \\
 &= \sqrt{(0.0435 \times 0.3048) \times (1 \times 0.3048)} \\
 &= 0.0636 \text{ m} \\
 D_m &= \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \\
 &= \sqrt[3]{26 \times 26 \times 52 \times 0.3048^3} = 9.9846 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการ 1-83

$$\begin{aligned}
 L_a &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_{bL}} \\
 &= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{9.9846}{0.0636} \\
 &= 1.0112 \text{ } \mu\text{H/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (b) \quad X_L &= 2\pi f L_a \\
 &= 2\pi 60 \times 1.0112 \times 10^{-6} \times 10^3 \\
 &= 0.3812 \text{ } \Omega/\text{km} \\
 X_L &= 0.3812 \times 1.609 = 0.6134 \text{ } \Omega/\text{mile}
 \end{aligned}$$

(c) จากสมการ 1-85 และสมการ 1-88

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1.293 \times 0.3048}{2 \times 12} \\
 &= 0.0164 \text{ m} \\
 D_{bc} &= \sqrt{rd} \\
 &= \sqrt{0.0164 \times (1 \times 0.3048)} = 0.0707 \text{ m}
 \end{aligned}$$

	แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ
$C_n = \frac{55.6 \times 10^{-12}}{\ln (D_m / D_{bc})}$ $= \frac{55.6 \times 10^{-12}}{\ln (9.9846 / 0.0707)}$ $= 11.238 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ (d) $X_C = \frac{1}{2\pi f C_n}$ $= \frac{10^{12} \times 10^{-3}}{2\pi 60 \times 11.238}$ $= 0.236 \times 10^6 \text{ } \Omega/\text{km}$ $X_C = \frac{0.236 \times 10^6}{1.609}$ $= 0.147 \times 10^6 \text{ } \Omega/\text{mile}$		

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	สอนครั้งที่ 10
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ
กิจกรรมการเรียนการสอน เตรียมความพร้อมก่อนสอน (10 นาที) ผู้สอนจัดเตรียมหนังสือเอกสารประกอบการสอนและวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบการสอนให้พร้อม ผู้สอนเรียกชื่อผู้เรียน และจดบันทึกลงในสมุดบันทึกเวลาเรียน ชั้นสอนมีขั้นตอนดังนี้ 1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (5 นาที) ครูตรวจแบบฝึกหัดเรื่อง การหาค่าอินดักแตนซ์ของสายตัวนำร่วม แล้วเฉลยแบบฝึกหัดให้นักศึกษาทราบเพื่อให้นักศึกษาเข้าใจ รวมทั้งแก้ไขข้อผิดพลาดให้ถูกต้องด้วย แล้วถามนักศึกษาถึงสาเหตุของการทำแบบฝึกหัดผิดว่าไม่เข้าใจส่วนใดของเนื้อหาครั้งที่ผ่านมา 2. ขั้นสอน (เวลา 140 นาที) ครูอธิบายถึง การส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม และผลที่ได้จากการส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม การหาพารามิเตอร์ของสายไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม รวมถึงสูตรในการคำนวณหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม พร้อมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณประกอบแล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกปฏิบัติ 3. ขั้นสรุป (เวลา 10 นาที) การส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วมจะทำให้ลดค่าพารามิเตอร์ในทางไฟฟ้าลง และเพิ่มค่าวิกฤติของโคโรน่าด้วย เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าลดลง หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งไฟฟ้านั่นเอง		

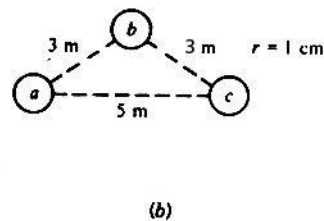
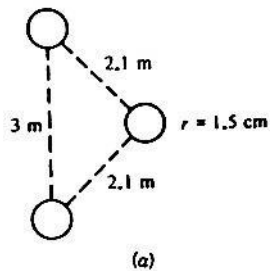
--

	แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	สอนครั้งที่ 10
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ
4. ชั้นประเมินผล (15 นาที) - ประเมินผลจากการทำแบบฝึกในห้องเรียน - ประเมินผลจากการถามตอบ - ประเมินผลจากแบบฝึกหัด สื่อการเรียนการสอน มีดังนี้ - ใบความรู้ - แผ่นภาพการส่งกระแสไฟฟ้าแบบสายตัวนำร่วม - แบบฝึกปฏิบัติ - แบบทดสอบ กิจกรรม/งานที่มอบหมาย มีดังนี้ แบบฝึกหัดเรื่องการหาค่า การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม การวัดผลประเมินผล ปฏิบัติดังนี้ - วัดผลจากการตรวจแบบฝึกปฏิบัติในห้องเรียน - วัดผลจากการตรวจแบบฝึกหัด		



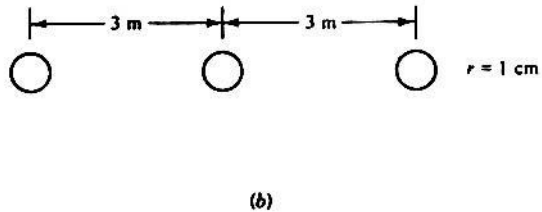
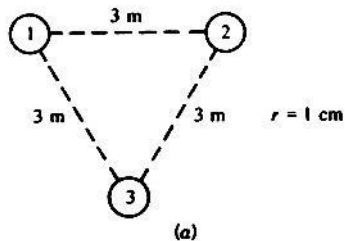
	ใบแบบฝึกหัด ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าค่าปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ

12. จากรูป 1-35 จงหาค่าอินดักแตนซ์ต่อเฟสเป็น H/m



รูปที่ 1-35

13. จากรูป 1-36 จงหาค่าอินดักแตนซ์ต่อเฟสเป็น H/m

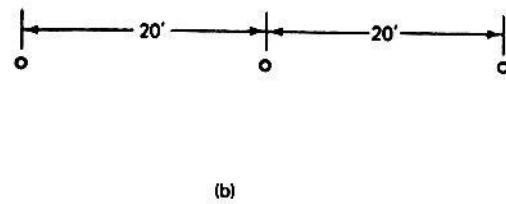
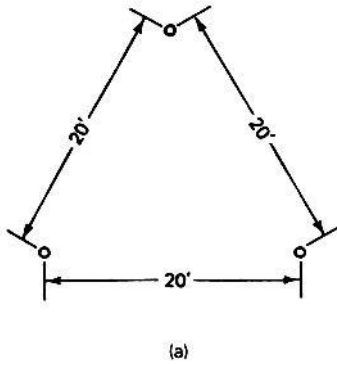


รูปที่ 1-36

14. จากรูป 1-37 ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ากลุ่มของสายตัวนำทางด้าน x และไหลย้อนกลับทางกลุ่มของสายตัวนำด้าน y มีค่าเท่ากัน จงหาค่าอินดักแตนซ์ของสายตัวนำทั้งหมดเป็น mH/mile สมมติตัวนำด้าน x และด้าน y มีค่า GMR เป็น 0.00814 ft และ 0.00446 ft ตามลำดับ



	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 10
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	ใบความรู้ที่ 6
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ



รูปที่ 1-39

20. โจทย์เหมือนตัวอย่าง 1-18 สมมติสายตัวนำร่วมของแต่ละเฟสมี 3 ตัวนำ
21. โจทย์เหมือนตัวอย่าง 1-18 สมมติสายตัวนำร่วมของแต่ละเฟสมี 4 ตัวนำ

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย สายตัวนำร่วม	สอนครั้งที่ 10
ชื่อเรื่อง การหาค่าคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำร่วม		จำนวนคาบ 3 คาบ
บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ ผลการเรียนของผู้เรียน ผลการสอนของผู้สอน 		

(.....)

(.....)

หัวหน้าแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

รองผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาศึกษา