

	แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	คาบรวม 6 คาบ
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
หัวข้อเรื่อง 1. คาปาซิเตอร์ของสายส่ง 3 เฟส ที่วางตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า 2. คาปาซิเตอร์ของสายส่ง 3 เฟส ที่วางตัวไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า สาระสำคัญ ระบบสายส่งโดยทั่ว ๆ ไปจะต้องประกอบด้วยสายทั้ง 3 เฟส ดังนั้นการจัดวางสายจึงเป็นสิ่งที่ทำให้ค่าคาปาซิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบการจัดวาง เมื่อสายทั้งสามวางตัวไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าก็จำเป็นต้องทำการสลับสายในทุกระยะ 1 ใน 3 ของความยาวสายส่ง เมื่อเป็นเช่นนั้นค่าคาปาซิเตอร์ของสายที่ได้ก็มาจากขนาดของคาปาซิเตอร์ของสายแต่ละเส้นรวมกัน แต่ระยะห่างของสายจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยเหมือนกับการหาค่า อินดักแตนซ์ จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเรื่อง การเกิดค่าคาปาซิเตอร์ของสายส่งในระบบสามเฟสทั้งแบบที่วางเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าและวางเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ 1. อธิบายการเกิดค่าคาปาซิเตอร์ 3 แบบจัดวางแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า 2. คำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ 3 แบบจัดวางแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า 3. อธิบายการเกิดค่าคาปาซิเตอร์ 3 แบบจัดวางแบบสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า 4. คำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ 3 แบบจัดวางแบบสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า		

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
แรงดันไฟฟ้าและคาปาซิเตอร์ของสายส่ง 3 เฟสที่วางตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า การหาค่าแรงดันไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ของสายส่ง 3 เฟสที่มีรัศมีเท่ากับ r และวางตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าดังรูป 1-27 ทำได้โดยใช้สมการ 1-62 หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากประจุไฟฟ้าของสายตัวนำที่ละเส้น โดยมีเงื่อนไขว่าประจุไฟฟ้าของสายตัวนำทั้ง 3 สายมีสภาพสมดุล นั่นคือ $Q_a = Q_b = Q_c = 0$ และกำหนดระยะพิจารณาใหม่ คือ S ซึ่งเป็นระยะที่ความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากตัวนำทั้งสามมีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นใช้หลักการวางซ้อนมาร่วมพิจารณา จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสายถึงนิวทรัล		



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5

ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008

ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์

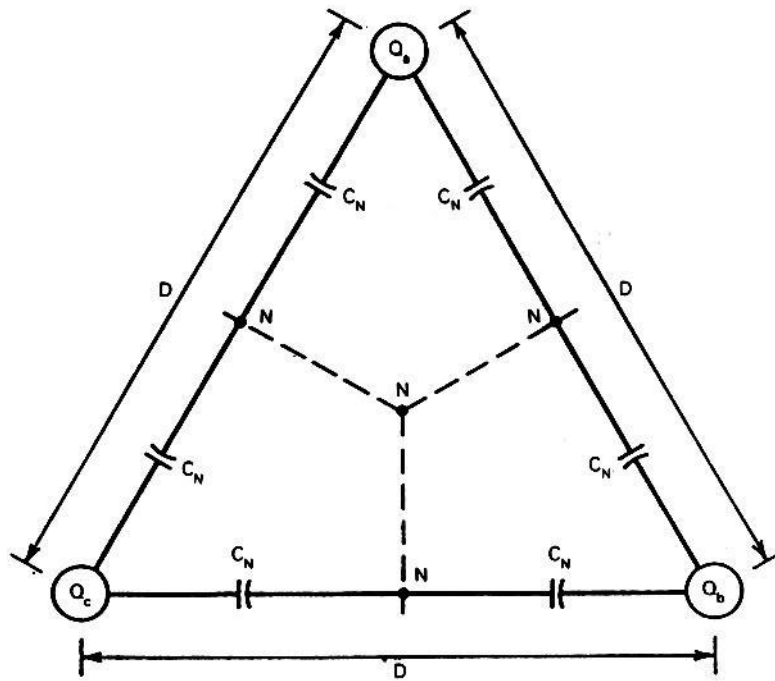
หน่วยที่ 5

สอนครั้งที่ 8

ใบความรู้ที่ 5

ชื่อเรื่อง คาปาซิเตนซ์ของสายส่งสามเฟส

จำนวนคาบ 3 คาบ



รูปที่ 1-27

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าสายถึงนิวทรัลของสายตัวนำ (กำหนดให้เป็น V_{an}) ทำได้ดังนี้

$$V_{an} = \frac{Q_a}{2\pi\epsilon_0} \ln(S/r) + \frac{Q_b}{2\pi\epsilon_0} \ln(S/D) + \frac{Q_c}{2\pi\epsilon_0} \ln(S/D) \quad \dots\dots\dots (1-71)$$

เมื่อ

$$Q_b + Q_c = -Q_a \quad \dots\dots\dots (1-72)$$

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} [Q_a \ln(S/r) - Q_a \ln(S/D)] \quad \dots\dots\dots (1-73)$$

$$V_{an} = \frac{Q_a}{2\pi\epsilon_0} \ln(D/r) \quad \dots\dots\dots (1-74)$$



	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ

แทนสมการ 1-74 ลงในสมการ 1-57

$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(D/r)} \quad \text{F/m} \quad \dots\dots\dots (1-75)$$

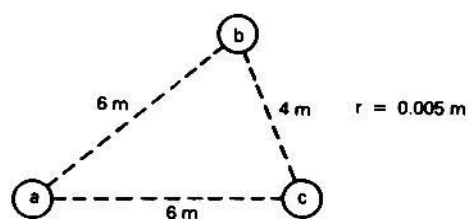
หรือ

$$C_{an} = \frac{0.0388}{\log(D/r)} \quad \mu\text{F/mile} \quad \dots\dots\dots (1-76)$$

$$C_{an} = \frac{0.0241}{\log(D/r)} \quad \mu\text{F/km} \quad \dots\dots\dots (1-77)$$

ข้อสังเกตคือ คาปาซิเตนซ์ที่ได้จากสมการ 1-75 ถึงสมการ 1-77 เป็นค่าต่อเฟส และ
 $C_{an} = C_{bn} = C_{cn} = C_n$

คาปาซิเตนซ์ของสายส่ง 3 เฟส ที่วางตัวไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า



รูปที่ 1-28

เมื่อ transpose line ในรูป 1-28 จนเกิดสภาพสมดุลแล้วก็จะหาค่าคาปาซิเตนซ์ได้เหมือนกับการหาค่าคาปาซิเตนซ์ในรูป 1-27 แต่ระยะห่าง D จะต้องแทนด้วย D_m เช่นเดียวกับการหาค่าอินดักเตนซ์จึงเขียนสมการ 1-76 ได้ใหม่ดังนี้

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_m}{r}} \quad \text{F/m} \quad \dots\dots\dots (1-78 a)$$



	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิแตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ

$$C_n = \frac{0.0388}{\log \frac{D_m}{r}} \quad \mu\text{F/mile} \quad \dots\dots\dots (1-78 \text{ b})$$

ซึ่งในกรณีนี้

$$D_m = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}} \quad \dots\dots\dots (1-79)$$

ตัวอย่างที่ 12

จากรูป 1-28 เป็นสายส่งเหนือศีรษะ จงหาค่าคาปาซิแตนซ์จากสายถึงนิวทรัลให้มีหน่วยเป็น F/m

วิธีทำ

จากสมการ 1-78 a และสมการ 1-79

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_m}{r}} \quad \text{F/m}$$

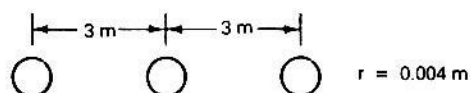
$$D_m = \sqrt[3]{6 \times 4 \times 6} = \sqrt[3]{6(4)6}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \quad \text{F/m}$$

$$C_n = \frac{(2\pi) 8.85 \times 10^{-12}}{\ln [\sqrt[3]{6(4)6}/0.005]} \\ = 8 \times 10^{-12} \quad \text{F/m}$$

ตัวอย่างที่ 13

จากรูป 1-29 เป็นสายส่งเหนือศีรษะ จงหาค่าคาปาซิแตนซ์จากสายถึงนิวทรัลให้มีหน่วยเป็น F/m



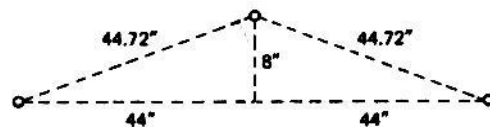
	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิแตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
วิธีทำ จากสมการ 1-78 a และสมการ 1-79 $C_n = \frac{(2\pi) 8.85 \times 10^{-2}}{\ln \left[\sqrt[3]{3(3)6/0.004} \right]}$ $= 8.116 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ตัวอย่างที่ 14 จากรูป 1-19 เป็นสายส่งเหนือศีรษะ กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 1.108 inc (a) จงหาค่าคาปาซิแตนซ์ต่อเฟสของสายตัวนำที่ยาว 1 m (b) จงหาค่าคาปาซิทิฟ ซัสเซพแตนซ์ (B_C) ของสายตัวนำยาว 10 mile ที่ความถี่ 60 Hz วิธีทำ (a) จากสมการ 1-79 และสมการ 1-78 a $D_m = \sqrt[3]{15 \times 15 \times 28} = 18.47 \text{ ft}$ $C_n = \frac{2\pi 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{18.47}{1.108 \times 1/2 \times (1/12)}}$ $= 9.28 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ (b) จากสมการ 1-78 b $C_n = \frac{0.0388}{\log \frac{D_m}{r}} \mu\text{F/mile}$ $B_C = \frac{1}{X_C} = 2\pi f C_n$ $= 2\pi 60 \frac{0.0388 \times 10^{-6}}{\log \frac{18.47}{1.108 \times 1/2 \times (1/12)}} \times 10$ $= 56.2 \times 10^{-6} \text{ S}$ $= 56.2 \mu\text{S}$		

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ

ตัวอย่างที่ 15

จากรูป 1-30 เป็นสายส่ง 3 เฟส ขนาด 60 Hz มีแรงดันไฟฟ้า 12.47 kV สายตัวนำแต่ละเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.254 inc, GMR = 0.00717 ft, R = 1.5 Ω /mile ขณะกระแสไฟฟ้า 200 A จงหาค่าต่อไปนี้

- X_L เป็น Ω /mile
- B_C เป็น S/mile
- กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏเป็น kVA



รูปที่ 1-30

วิธีทำ

- จากสมการ 1-53 และสมการ 1-55

$$\begin{aligned}
 D_m &= \sqrt[3]{\frac{(44.72)^2 \cdot 88}{12^3}} \\
 &= 4.67 \text{ ft} \\
 X_L &= 2\pi fL \\
 &= 2\pi 60 \left(0.7411 \log \frac{4.67}{0.00717} \right) \times 10^{-3} \\
 &= 0.7862 \text{ } \Omega/\text{mile}
 \end{aligned}$$

- จากสมการ 1-78 b

$$\begin{aligned}
 C_n &= \frac{0.0388}{\log \frac{D_m}{r}} \\
 B_C &= \frac{14.63}{\log \frac{4.67 \times 2 \times 12}{0.254}}
 \end{aligned}$$

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิแตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
$= 5.532 \times 10^{-6} \text{ S/mile}$ (c) $S = \sqrt{3} \times 12.47 \times 200 = 4319 \text{ kVA}$ 4 กอนดักแตนซ์ (Conductance ; G) กอนดักแตนซ์ของสายตัวนำเป็นพารามิเตอร์ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (leakage current) ที่ฉนวน เช่น ฉนวนของลูกถ้วย เป็นต้น กอนดักแตนซ์มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทาน อินดักแตนซ์ และคาปาซิแตนซ์ของสายตัวนำ ดังนั้น ในการคำนวณค่าต่างๆของระบบการส่งกำลังไฟฟ้าจึงไม่นำค่ากอนดักแตนซ์มาร่วมพิจารณาหรือมักกำหนดให้กอนดักแตนซ์ของสายส่งมีค่าเท่ากับศูนย์		

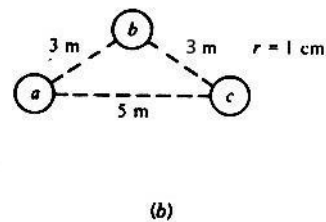
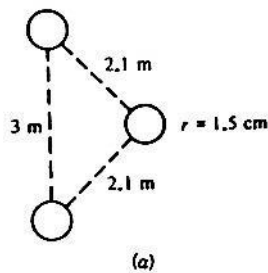
	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	สอนครั้งที่ 8
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
กิจกรรมการเรียนการสอน เตรียมความพร้อมก่อนสอน (10 นาที) ผู้สอนจัดเตรียมหนังสือเอกสารประกอบการสอนและวัสดุอุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบการสอนให้พร้อม ผู้สอนเรียกชื่อผู้เรียน และจดบันทึกลงในสมุดบันทึกเวลาเรียน ชั้นสอนมีขั้นตอนดังนี้ 1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (5 นาที) ครูตรวจแบบฝึกหัดเรื่อง คาปาซิเตนซ์ แล้วเฉลยแบบฝึกหัดให้นักศึกษาทราบเพื่อให้ นักศึกษาเข้าใจ รวมทั้งแก้ไขข้อผิดพลาดให้ถูกต้องด้วย แล้วถามนักศึกษาถึงสาเหตุของการทำแบบฝึกหัดผิดว่า ไม่เข้าใจส่วนใดของเนื้อหาครั้งที่ผ่านมา 2. ขั้นสอน (เวลา 140 นาที) ครูอธิบายถึง การเกิดสนามไฟฟ้ารอบ ๆ สายตัวนำ และการเกิดค่าคาปาซิเตนซ์รอบ ๆ สายตัวนำกับนิวทรัล ของระบบไฟฟ้า 3 เฟส รวมถึงสูตรในการคำนวณต่าง ๆ เกี่ยวกับการหาค่า คาปาซิเตนซ์ในระบบ 3 เฟส พร้อมทั้งยกตัวอย่างการคำนวณประกอบแล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกปฏิบัติ 3. ขั้นสรุป (เวลา 10 นาที) ระบบสายส่งโดยทั่ว ๆ ไปจะต้องประกอบด้วยสายทั้ง 3 เฟส ดังนั้นการจัดวางสายจึงเป็นสิ่งที่ ทำให้ค่าคาปาซิเตนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบการจัดวาง เมื่อสายทั้งสามวางตัวไม่เป็นรูป สามเหลี่ยมด้านเท่าก็จำเป็นต้องทำการสลับสายในทุกระยะ 1 ใน 3 ของความยาวสายส่ง เมื่อเป็นเช่นนั้น ค่าคาปาซิเตนซ์ของสายที่ได้ก็มาจากขนาดของคาปาซิเตนซ์ของสายแต่ละเส้นรวมกัน แต่ระยะห่างของสายจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยเหมือนกับการหาค่า อินดักเตนซ์		

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	สอนครั้งที่ 8
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
4. ชั้นประเมินผล (15 นาที) - ประเมินผลจากการทำแบบฝึกในห้องเรียน - ประเมินผลจากการถามตอบ - ประเมินผลจากแบบฝึกหัด สื่อการเรียนการสอน มีดังนี้ - ใบความรู้ - แผ่นภาพการเกิดคาปาซิเตอร์ - แบบฝึกปฏิบัติ - แบบทดสอบ กิจกรรม/งานที่มอบหมาย มีดังนี้ แบบฝึกหัดเรื่องการหาค่า คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส การวัดผลประเมินผล ปฏิบัติดังนี้ - วัดผลจากการตรวจแบบฝึกปฏิบัติในห้องเรียน - วัดผลจากการตรวจแบบฝึกหัด		



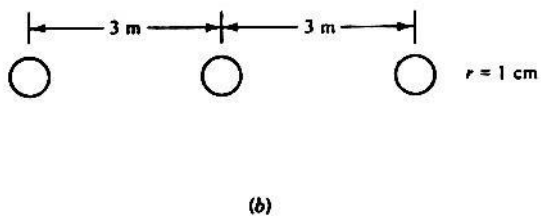
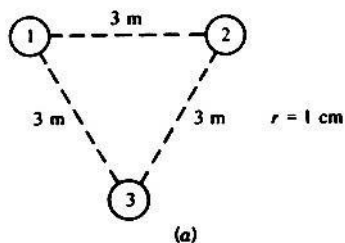
	ใบแบบฝึกหัด ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตนซ์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ

12. จากรูป 1-35 จงหาค่าอินดักแตนซ์ต่อเฟสเป็น H/m



รูปที่ 1-35

13. จากรูป 1-36 จงหาค่าอินดักแตนซ์ต่อเฟสเป็น H/m

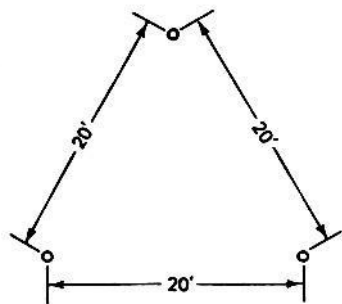


รูปที่ 1-36

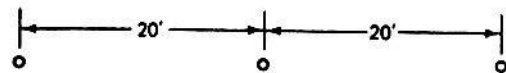
14. จากรูป 1-37 ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ากลุ่มของสายตัวนำทางด้าน x และไหลย้อนกลับทางกลุ่มของสายตัวนำด้าน y มีค่าเท่ากัน จงหาค่าอินดักแตนซ์ของสายตัวนำทั้งหมดเป็น mH/mile สมมติตัวนำด้าน x และด้าน y มีค่า GMR เป็น 0.00814 ft และ 0.00446 ft ตามลำดับ



	ใบแบบฝึกหัด ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	ใบความรู้ที่ 5
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ



(a)



(b)

รูปที่ 1-39

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

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา การส่งและจ่ายไฟฟ้า 3104-1008	
	ชื่อหน่วย คาปาซิเตอร์	สอนครั้งที่ 8
ชื่อเรื่อง คาปาซิเตอร์ของสายส่งสามเฟส		จำนวนคาบ 3 คาบ
บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ ผลการเรียนของผู้เรียน ผลการสอนของผู้สอน 		

(.....)

(.....)

หัวหน้าแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง

รองผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาศึกษา