บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กานดา พูนลาภทวี. การวัดและประเมินผลการศึกษา. ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ, 2528.

กรองกาญจน์ อรุณรัตน์. เอกสารประกอบการสอนเรื่องชุดการเรียนการสอน. 2536. (อัดสำเนา)

กิตติ ภักดีวัฒนกุล. คัมภีร์ระบบสารสนเทศ. กรุงเทพมหานคร : เคทีพีคอมแอนด์คอนซัลท์, 2546.

กิดานันท์ มลิทอง. เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

กฤษมันต์ วัฒนาณรงค์. ยุทธวิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค. ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.

คฑาวุธ อชุมขวัญ. การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนโดยใช้สื่อประสม เรื่องเครื่องส่งวิทยุและสายอากาศ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง พ.ศ. 2546) สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

จินตนา ใบกาซูยี. การเขียนสื่อการเรียนการสอน. กรุงเทพมหานคร : สุวีริยาสาสน์, 2536.

ฉัททวุฒิ พืชผล และ พิชิต สันติกุลานนท์. คู่มือเรียน Visual Basic 6. กรุงเทพมหานคร : โปรวิชัน, 2542.

ชม ภูมิภาค. เทคโนโลยีทางการสอนและการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : ประสานมิตร, 2524.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. เทคโนโลยีและการสื่อสารศึกษา. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2526.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ. เทคโนโลยีทางการศึกษาหลักการและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วัฒนาพานิช, 2526.

บุญเกื้อ ควรหาเวช. นวัตกรรมการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : เจริญวิทย์การพิมพ์, 2530.

รุ่งทิวา จักร์กร. วิธีการสอนทั่วไป. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาหลักสูตรและการสอนมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2527.

ลัดดา สุขปรีดี. เทคโนโลยีทางการสอน. ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน, 2522.

ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สุวีริยาสาส์น, 2538.

วาสนา ชาวหา. เทคโนโลยีทางการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์กราฟอาร์ต, 2530.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. สื่อการเรียนการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.

วิสิฐ อุตมานนท์. การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนปฏิบัติการ เรื่องระบบการสื่อสารข้อมูลแบบแอนาล็อก สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

ศรัณย์ ชูคดี. การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาระบบโทรศัพท์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

สุราษฎร์ พรมจันทร์. การวัดผลการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2530.

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. หน่วยการเรียนการสอน. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2528.

สมมารถ ขำเกลี้ยง. การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนเรื่องสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

อำนาจ ปาละหงษา. การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และการมัลติเพล็กซ์ วิชาระบบสื่อสาร 2 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2544). วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

ภาคผนวก ก

- รายละเอียดของหลักสูตรและลักษณะรายวิชาข่ายการสื่อสารและสายส่ง

หลักสูตรรายวิชาข่ายการสื่อสารและสายส่ง
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ลักษณะรายวิชา

รหัสวิชา	224307
ชื่อวิชาภาอังกฤษ	Communication Network and Transmission Lines
ชื่อวิชาภาษาไทย	ข่ายการสื่อสารและสายส่ง
วิชาบังคับก่อน	อิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม 2
จำนวนหน่วยกิต	3 (3-0) หน่วยกิต

คำอธิบายรายวิชา

ฟังก์ชั่นการโอนย้าย การตอบสนองเชิงขนาด ความถี่และเฟส ซีโร่-โพลไดอะแกรม โบดพล็อต และขีดจำกัดการใช้งาน เฮอร์วิทซ์โปลิโนเมียล ฟังก์ชั่นของตัวเลขจำนวนจริงบวก การสังเคราะห์ข่ายวงจรหนึ่งพอร์ต การสังเคราะห์ข่ายวงจรสองพอร์ต การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะทางกายภาพของสายส่ง ลักษณะสมบัติในสถานะอยู่ตัว สมิธชาร์ตและการประยุกต์ ลักษณะสมบัติทางพลวัตและการตอบสนองเมื่อสัญญาณเป็นพัลส์

วัตถุประสงค์ทั่วไป

หลักสูตรรายวิชาข่ายการสื่อสารและสายส่ง (Communication Networks and Transmission Lines) นี้ มีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้นักศึกษา ได้มีความสามารถดังต่อไปนี้

1. อธิบายหลักการของระบบ, ฟังก์ชั่นการโอนย้าย, เฟสเซอร์
2. คำนวณค่าความถี่เรโซแนนซ์ ตัวประกอบคุณภาพ และแถบความถี่
3. คำนวณคุณสมบัติของข่ายงานสองขั้ว และพารามิเตอร์แบบต่าง ๆ
4. คำนวณหาค่าอุปกรณ์พาสซีฟในวงจรกรองความถี่
5. ออกแบบวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ
6. อธิบายโครงสร้างและสมการของสายส่ง
7. คำนวณค่าของแรงดัน กระแส และกำลังงานในวงจรสายส่ง
8. เขียนสมการคลื่นและคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ทางเข้าของวงจรสายส่ง
9. อธิบายค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและคลื่นนิ่งในวงจรสายส่ง
10. ออกแบบไดอะแกรมสมิธและประยุกต์ใช้งานในวงจรสายส่ง

11. อธิบายการตอบสนองของสัญญาณพัลส์ในสายส่ง
12. คำนวณและออกแบบวงจรสายส่งไมโครสตริป
13. คำนวณและออกแบบวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟ

หัวข้อสำหรับการสอน

การวิเคราะห์หัวข้อสำหรับการสอนในรายวิชาข่ายการสื่อสารและสายส่ง ได้กำหนดหัวเรื่องจำนวน 14 เรื่อง ดังตารางต่อไปนี้

หน่วยเรียนที่	การสอนเรื่อง	จำนวนชั่วโมง	งานวิจัย
1	ระบบข่ายงานหนึ่งขั้ว, ความถี่เรโซแนนซ์ Q และแถบความถี่	3	-
2	ข่ายงานสองขั้ว และพารามิเตอร์แบบต่างๆ	3	-
3	พารามิเตอร์แบบกระจัดกระจายและแบบส่งผ่าน	3	-
4	**วงจรกรองความถี่พาสซีฟ**	**3**	**1**
5	**การประมาณค่าของวงจรกรองความถี่พาสซีฟ**	**3**	**2**
6	**การแปลงสภาพวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ**	**3**	**3**
7	สายส่งความถี่สูงและสมการของสายส่ง	3	-
8	สมการของแรงดัน กระแส และกำลังงานในวงจรส่ายส่ง	3	-
9	สมการคลื่นและอิมพีแดนซ์ทางเข้าของวงจรสายส่ง	3	-
10	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และคลื่นนิ่ง	3	-
11	ไดอะแกรมสมิธ และการใช้งาน	3	-
12	สายส่งกับการตอบสนองของสัญญาณพัลส์	3	-
13	สายส่งไมโครสตริป	3	-
14	วงจรกรองความถี่ไมโครเวฟ	3	-

การทำวิจัยเรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสมเรื่องวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยได้เลือกหัวข้อวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ จำนวน 3 หน่วยเรียน ดังนี้

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

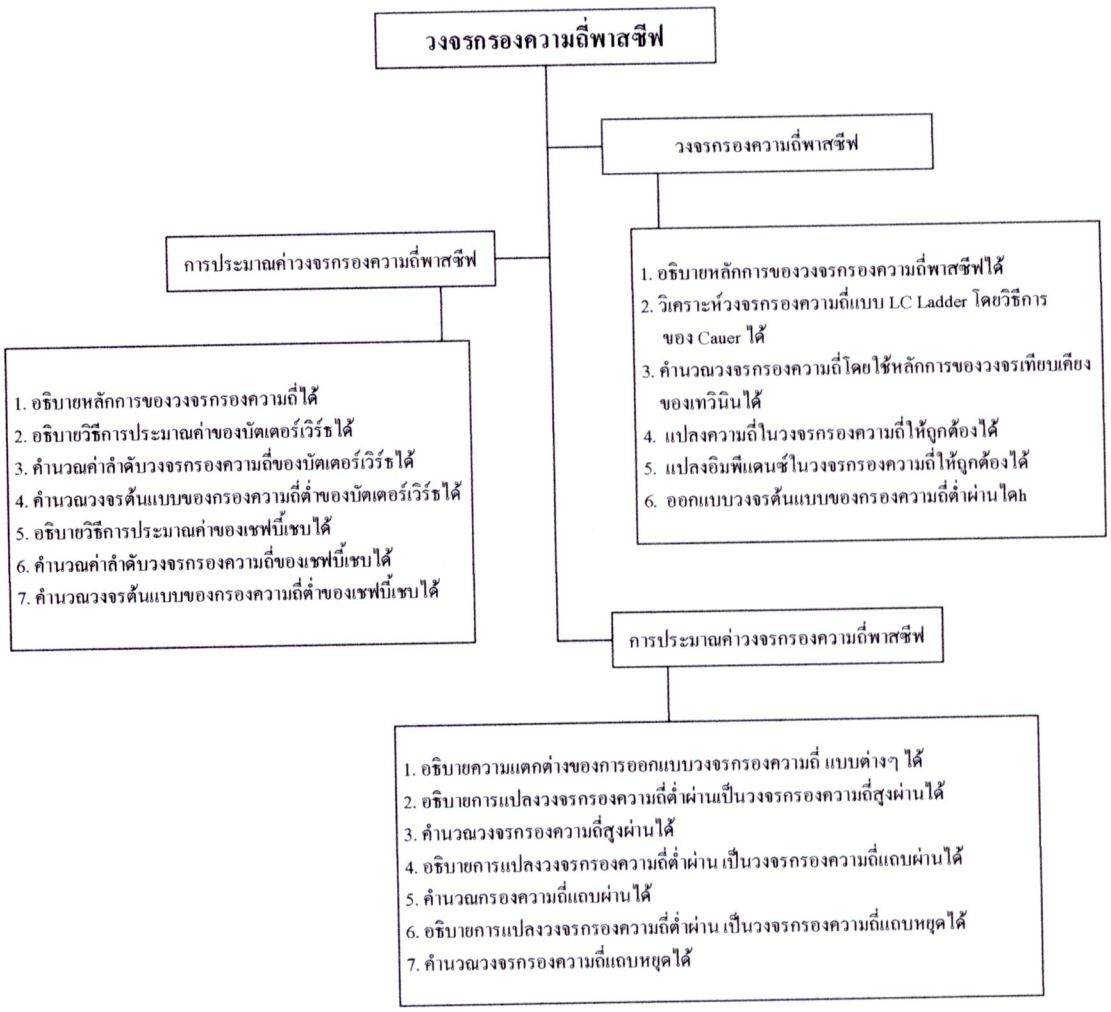
หน่วยการเรียนที่ 2 การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ภาคผนวก ข

- วิเคราะห์หัวข้อในเรื่องข่ายการสื่อสารและสายส่ง
- รายละเอียดหัวเรื่องและแหล่งข้อมูล
- การประเมินความสำคัญของหัวเรื่อง
- เนื้อหาสำคัญของหัวเรื่องและความรู้ของเนื้อหา
- การวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

การวิเคราะห์หัวเรื่อง



ภาพที่ ข-1 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของหน่วยเรียน

ตารางที่ ข-1 รายการหัวข้อเรื่องและแหล่งข้อมูล

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	หัวเรื่อง (Topic)	แหล่งข้อมูล			
		A	B	C	D
1	วงจรกรองความถี่พาสซีฟ	✓	✓	✓	✓
2	การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ	✓	✓	✓	✓
3	การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ	✓	✓	✓	✓

แหล่งข้อมูล : A = หลักสูตร

B = หนังสือ ตำรา คู่มือ

C = ผู้เชี่ยวชาญ

D = ประสบการณ์ของผู้สอน

ตารางที่ ข-2 การประเมินความสำคัญของหัวข้อเรื่อง

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	หัวเรื่อง (Topic)	1	2	3
1	วงจรกรองความถี่พาสซีฟ	I	X	O
2	การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ	I	X	O
3	การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ	I	X	O

หมายเหตุ :

1 : ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาในการเรียน

2 : ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานให้ถูกต้อง

3 : ช่วยส่งเสริมผู้เรียนมีเจตคติที่ดี

ความสำคัญ

X : มาก

I : ปานกลาง

O : น้อย

ตารางที่ ข-3 การประเมินความสำคัญและรายละเอียดเนื้อหาของหัวข้อเรื่อง

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 1 : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	รายละเอียดของเนื้อหา	1	2	3
1	วงจรกรองความถี่พาสซีฟ	X	X	O
2	การปรับค่าความถี่และอิมพีแดนซ์			
	2.1 การปรับย่านความถี่ใช้งาน	X	X	O
	2.2 การปรับค่าอิมพีแดนซ์	X	X	O

หมายเหตุ : **ความสำคัญ**

1 : ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาในการเรียน X : มาก

2 : ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานให้ถูกต้อง I : ปานกลาง

3 : ช่วยส่งเสริมผู้เรียนมีเจตคติที่ดี O : น้อย

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 2 : การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	รายละเอียดของเนื้อหา	1	2	3
1	วงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธ	X	X	O
2	วงจรกรองความถี่ของเชฟบี้เชบ	X	X	O

หมายเหตุ : **ความสำคัญ**

1 : ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาในการเรียน X : มาก

2 : ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานให้ถูกต้อง I : ปานกลาง

3 : ช่วยส่งเสริมผู้เรียนมีเจตคติที่ดี O : น้อย

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 3 : การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	รายละเอียดของเนื้อหา	1	2	3
1	การเปรียบเทียบวงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธ และเชฟบี้เชบ	X	X	O
2	การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นวงจรกรองความถี่สูง	X	X	O
3	การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	X	X	O
4	การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุด	X	X	O

หมายเหตุ :

1 : ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาในการเรียน

2 : ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานให้ถูกต้อง

3 : ช่วยส่งเสริมผู้เรียนมีเจตคติที่ดี

ความสำคัญ

X : มาก

I : ปานกลาง

O : น้อย

ตารางที่ ข-4 รายละเอียดของเนื้อหาที่สำคัญของหัวเรื่องและความรู้ของเนื้อหา

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 1 : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

เนื้อหาสำคัญของหัวเรื่อง	ความรู้ที่ต้องการ	LK		
		R	A	T
1. วงจรกรองความถี่พาสซีฟ	1.1 การวิเคราะห์และคำนวณวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ	X		
2. การปรับค่าความถี่และอิมพีแดนซ์	2.1 แปลงความถี่ในวงจรกรองความถี่		X	
	2.2 แปลงอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความรู้** R = ฟื้นคืนความรู้ X : สำคัญมาก

A = การประยุกต์ความรู้ I : สำคัญ

T = การส่งถ่ายความรู้ O : ไม่สำคัญ

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 2 : การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

เนื้อหาสำคัญของหัวเรื่อง	ความรู้ที่ต้องการ	LK		
		R	A	T
1. วงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธ	1.1 การประมาณค่าของบัตเตอร์เวิร์ธ		X	
2. วงจรกรองความถี่ของเชฟบี้เชบ	2.1 การประมาณค่าของเชฟบี้เชฟ		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความรู้** R = ฟื้นคืนความรู้ X : สำคัญมาก

A = การประยุกต์ความรู้ I : สำคัญ

T = การส่งถ่ายความรู้ O : ไม่สำคัญ

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 3 : การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

เนื้อหาสำคัญของหัวเรื่อง	ความรู้ที่ต้องการ	LK		
		R	A	T
1. เปรียบเทียบวงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธและเชฟบี้เชบ	1.2 ความแตกต่างของการออกแบบวงจรกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ธและเชฟบี้เชบ	X		
2. แปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	2.1 การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน		X	
3. แปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	3.1 การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่าน		X	
4. แปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุด	3.1 การแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุด		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความรู้**

R = ฟื้นคืนความรู้

A = การประยุกต์ความรู้

T = การส่งถ่ายความรู้

X : สำคัญมาก

I : สำคัญ

O : ไม่สำคัญ

ตารางที่ ข-5 รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 1 : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK		
		R	**A**	**T**
1	อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่พาสซีฟได้	X		
2	วิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer ได้		X	
3	คำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินินได้		X	
4	แปลงความถี่ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้		X	
5	แปลงอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้		X	
6	ออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำผ่านได้		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ** R = ฟื้นคืนความรู้ X : สำคัญมาก

A = การประยุกต์ความรู้ I : สำคัญ

T = การส่งถ่ายความรู้ O : ไม่สำคัญ

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 2 : การประมาณค่าวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK		
		R	**A**	**T**
1	อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่ได้	X		
2	อธิบายวิธีการประมาณค่าของบัตเตอร์เวิร์ธได้	X		
3	คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธได้		X	
4	คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของบัตเตอร์เวิร์ธได้		X	
5	อธิบายวิธีการประมาณค่าของเชฟบี้เชบได้	X		
6	คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของเชฟบี้เชบได้		X	
7	คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของเชฟบี้เชบได้		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ** R = ฟื้นคืนความรู้ X : สำคัญมาก

A = การประยุกต์ความรู้ I : สำคัญ

T = การส่งถ่ายความรู้ O : ไม่สำคัญ

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

วิชา : ข่ายการสื่อสารและสายส่ง **รหัส** 224307

(Communication Network and Transmission Lines)

หัวเรื่อง : วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

บทที่ 3 : การแปลงวงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ลำดับที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK		
		R	**A**	**T**
1	อธิบายความแตกต่างของการออกแบบวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ ได้	X		
2	อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้	X		
3	คำนวณวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้		X	
4	อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่านได้	X		
5	คำนวณกรองความถี่แถบผ่านได้		X	
6	อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้	X		
7	คำนวณวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้		X	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ** R = ฟื้นคืนความรู้ X : สำคัญมาก

A = การประยุกต์ความรู้ I : สำคัญ

T = การส่งถ่ายความรู้ O : ไม่สำคัญ

ภาคผนวก ค

- ตารางวิเคราะห์วัตถุประสงค์การสอน
- ตารางวิเคราะห์วัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบทดสอบ
- ตารางวิเคราะห์สื่อการสอน

ตารางที่ ค-1 รายการวัตถุประสงค์การสอน

หน่วยเรียนที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK	XIO	321	รวม
1	1. อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่พาสซีฟได้	R	I	2	15
	2. วิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer ได้	R	I	2	
	3. คำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินินได้	A	X	3	
	4. แปลงความถี่ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้	A	X	3	
	5. แปลงอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้	A	X	3	
	6. ออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำผ่านได้	T	I	2	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ**	**ความสำคัญ**	**ระดับคะแนน**
R = ฟื้นคืนความรู้	X : สำคัญมาก	3
A = การประยุกต์ความรู้	I : สำคัญ	2
T = การส่งถ่ายความรู้	O : ไม่สำคัญ	1

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

หน่วยเรียนที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK	XIO	321	รวม
2	1. อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่ได้	R	I	2	18
	2. อธิบายวิธีการประมาณค่าของบัตเตอร์เวิร์ธได้	R	I	2	
	3. คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธได้	A	X	3	
	4. คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของบัตเตอร์เวิร์ธได้	A	X	3	
	5. อธิบายวิธีการประมาณค่าของเชฟบี้เชบได้	R	I	2	
	6. คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของเชฟบี้เชบได้	A	X	3	
	7. คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของเชฟบี้เชบได้	A	X	3	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ**	**ความสำคัญ**	**ระดับคะแนน**
R = ฟื้นคืนความรู้	X : สำคัญมาก	3
A = การประยุกต์ความรู้	I : สำคัญ	2
T = การส่งถ่ายความรู้	O : ไม่สำคัญ	1

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

หน่วยเรียนที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LK	XIO	321	รวม
3	1. อธิบายความแตกต่างของการออกแบบวงจรกรองความถี่แบบต่างๆ ได้	R	I	2	17
	2. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้	R	I	2	
	3. คำนวณวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้	A	X	3	
	4. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่านได้	R	I	2	
	5. คำนวณกรองความถี่แถบผ่านได้	A	X	3	
	6. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้	R	I	2	
	7. คำนวณวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้	A	X	3	

หมายเหตุ :

LK = **ระดับความสำคัญ**

R = ฟื้นคืนความรู้

A = การประยุกต์ความรู้

T = การส่งถ่ายความรู้

ความสำคัญ	**ระดับคะแนน**
X : สำคัญมาก	3
I : สำคัญ	2
O : ไม่สำคัญ	1

ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อออกแบบทดสอบ

หัวเรื่อง		ระดับของสติปัญญา			รวมคะแนน	แบบทดสอบ	จำนวนข้อสอบ
		ฟื้นคืนความรู้	ประยุกต์ความรู้	ส่งถ่ายความรู้			
หน่วยที่	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม						
1					15		12
	1.	I				2	
	2.	I				1	
	3.		X			2	
	4.		X			2	
	5.		X			1	
	6.			I		4	
2					17		12
	1.	I				2	
	2.	I				1	
	3.		X			2	
	4.		X			2	
	5.	I				2	
	6.		X			1	
	7.		X			2	
3					17		12
	1.	I				1	
	2.	I				2	
	3.		X			1	
	4.	I				2	
	5.		X			3	
	6.	I				2	
	7.		X			1	

ตารางที่ ค-3 การวิเคราะห์สื่อการสอน

หน่วยที่ 1 : วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

วัตถุประสงค์ ข้อที่	สื่อที่เลือก							เหตุผลที่เลือก
	กระดานดำ	แผ่นใส	เพาเวอร์พอยท์	CAI	โปรแกรมจำลอง	ของจริง	ชุดสาธิต	
1. อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่พาสซีฟได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
2. วิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer ได้	X	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, แสดงขั้นตอนละเอียด
3. คำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินินได้	X	O	I	I	O	O	O	แสดงขั้นตอนละเอียด
4. แปลงความถี่ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน
5. แปลงอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน
6. ออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำผ่านได้	X	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, แสดงขั้นตอนละเอียด

X : สื่อที่มีความสำคัญมากที่สุด I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง O : สื่อที่มีความสำคัญน้อย

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

หน่วยที่ 2 : การประมาณค่าวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

วัตถุประสงค์ ข้อที่	สื่อที่เลือก							เหตุผลที่เลือก
	กระดานดำ	แผ่นใส	เพาเวอร์พอยต์	CAI	โปรแกรมจำลอง	ของจริง	ชุดสาธิต	
1. อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่ได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
2. อธิบายวิธีการประมาณค่าของบัตเตอร์เวิร์ธได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
3. คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของบัตเตอร์เวิร์ธได้	X	O	I	I	X	O	O	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ
4. คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของบัตเตอร์เวิร์ธได้	X	O	I	I	X	O	O	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ
5. อธิบายวิธีการประมาณค่าของเชฟบี้เชบได้	I	O	X	I		O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
6. คำนวณค่าลำดับวงจรกรองความถี่ของเชฟบี้เชบได้	X	O	I	I	X	O	O	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ
7. คำนวณวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำของเชฟบี้เชบได้	X	O	I	I	X	O	O	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ

X : สื่อที่มีความสำคัญมากที่สุด I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง O : สื่อที่มีความสำคัญน้อย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

หน่วยที่ 3 : การแปลงวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

วัตถุประสงค์ข้อที่	สื่อที่เลือก							เหตุผลที่เลือก
	กระดานดำ	แผ่นใส	เพาเวอร์พอยต์	CAI	โปรแกรมจำลอง	ของจริง	ชุดสาธิต	
1. อธิบายความแตกต่างของการออกแบบวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ ได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
2. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้	I	I	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
3. คำนวณวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้	X	O	I	I	X	O	X	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ
4. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่านได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
5. คำนวณกรองความถี่แถบผ่านได้	X	O	I	I	X	O	X	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ
6. อธิบายการแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้	I	O	X	I	O	O	O	เห็นชัดเจน, สะดวก
7. คำนวณวงจรกรองความถี่แถบหยุดได้	X	O	I	I	X	O	X	แสดงขั้นตอนละเอียด, เสริมสร้างจินตนาการ

X : สื่อที่มีความสำคัญมากที่สุด I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง O : สื่อที่มีความสำคัญน้อย

ภาคผนวก ง

- ผลการวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อหาดรรชนีความสอดคล้องระหว่างข้องสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของผู้เชี่ยวชาญ
- ผลการวิเคราะห์หาความยากง่าย (P), ค่าอำนาจจำแนก(D) ของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียน

ตารางที่ ง-1 การวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

บทที่	วัตถุประสงค์ข้อที่	ข้อสอบข้อที่	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					∑R	IOC
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
1	1	1	0	1	1	0	1	3	0.6
		2	1	1	1	0	1	4	0.8
	2	3	1	1	1	-1	1	3	0.6
	3	4	1	1	0	-1	1	2	0.4
		5	1	1	0	-1	1	2	0.4
		6	1	1	0	-1	1	2	0.4
	4	7	0	1	1	-1	1	2	0.4
		8	0	1	1	-1	1	2	0.4
	5	9	0	1	1	-1	1	2	0.4
	6	10	1	1	1	0	1	4	0.8
		11	1	1	1	0	1	4	0.8
		12	1	1	1	-1	1	3	0.6
		13	1	1	1	-1	1	3	0.6
		14	1	1	1	0	1	4	0.8
		15	1	1	1	0	1	4	0.8
2	1	1	0	1	1	0	1	3	0.6
		2	1	1	1	0	1	4	0.8
	2	3	1	1	1	1	1	5	1
	3	4	1	1	1	1	1	5	1
		5	0	1	0	-1	1	1	0.2
		6	1	1	1	-1	1	3	0.6
	4	7	0	1	0	0	1	2	0.4
		8	0	1	0	0	1	2	0.4
		9	1	1	1	1	1	5	1

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

บทที่	วัตถุประสงค์ข้อที่	ข้อสอบข้อที่	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					∑R	IOC
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
2	5	10	1	1	1	1	1	5	1
		11	1	1	1	0	1	4	0.8
		12	1	1	1	0	1	4	0.8
	6	13	0	1	0	0	1	2	0.4
	7	14	1	1	1	1	1	5	1
		15	0	1	0	0	1	2	0.4
3	1	1	1	1	1	0	1	4	0.8
		2	1	1	1	0	1	4	0.8
	2	3	0	1	0	0	1	2	0.4
		4	0	1	0	-1	1	1	0.2
	3	5	1	1	1	1	1	5	1
	4	6	0	1	0	0	1	2	0.4
		7	0	1	1	0	0	2	0.4
		8	0	1	0	-1	1	1	0.2
	5	9	0	1	1	0	1	3	0.6
		10	1	1	1	1	1	5	1
		11	1	1	0	1	1	4	0.8
	6	12	0	1	0	0	1	2	0.4
		13	0	1	0	0	1	2	0.4
		14	0	1	1	0	1	3	0.6
	7	15	1	1	1	1	1	5	1
∑X			26	45	30	-4	44	141	28
$\overline{X}$			0.58	1.00	0.67	-0.09	0.98	0.63	0.63

ดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมกับข้อสอบ

หาได้จากสูตร $IOC = \frac{\sum R}{N}$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การแปลความหมายของการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ค่าดัชนีที่คำนวณได้มากกว่าหรือเทียบเท่ากับ 0.5 แสดงว่าข้อสอบวัดหรือเป็นตัวแทนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมข้อนั้น ถ้าดัชนีที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.5 แสดงว่าข้อสอบไม่วัดหรือไม่เป็นตัวแทนวัตถุประสงค์ในข้อนั้นๆ(บุญเชิด ,2527 : 69)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านที่ประเมินข้อสอบทั้งหมด 45 ข้อ พบว่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าระหว่าง -0.09 - 1.00 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63

ตารางที่ ง-2 การวิเคราะห์หาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 1

ข้อที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
เด็กเก่ง	10	3	10	7	1	7	5	10	10	7	10	7	8	4	0
เด็กอ่อน	7	3	10	10	4	9	1	9	9	5	6	4	4	1	2
D	0.3	0	0	-0.3	-0.3	-0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	-0.2

การคำนวณค่าอำนาจจำแนกของข้อมูลใช้สูตร

$$D = \frac{(R_U - R_L)}{N}$$

เมื่อ D คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนคนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

อำนาจจำแนก (D) ของแบบทดสอบที่ใช้ได้มีค่าตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

ตารางที่ ง-3 การวิเคราะห์หาความยากง่ายของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 1

ข้อที่	ค่าความยาก (Difficulty)	แปลความหมาย	ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)	แปลความหมาย
1	0.85	ง่ายมาก	0.30	จำแนกปานกลาง
2	0.3	ค่อนข้างยาก	0.00	จำแนกต่ำ
3	1	ง่ายมาก	0.00	จำแนกต่ำ
4	0.85	ง่ายมาก	-0.30	ไม่จำแนก
5	0.25	ค่อนข้างยาก	-0.30	ไม่จำแนก
6	0.8	ค่อนข้างง่าย	-0.20	ไม่จำแนก
7	0.3	ค่อนข้างยาก	0.40	จำแนกสูง
8	0.95	ง่ายมาก	0.10	จำแนกต่ำ
9	0.95	ง่ายมาก	0.10	อำนาจจำแนกต่ำ
10	0.6	ยากง่ายพอเหมาะ	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
11	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.40	จำแนกสูง
12	0.55	ยากง่ายพอเหมาะ	0.30	จำแนกปานกลาง
13	0.6	ยากง่ายพอเหมาะ	0.40	จำแนกสูง
14	0.25	ค่อนข้างยาก	0.30	จำแนกปานกลาง
15	0.1	ยากมาก	-0.20	ไม่จำแนก

แบบทดสอบที่อยู่ในเกณฑ์นำไปใช้ได้ คือ 7 10 11 12 13 14 จำนวน 6 ข้อ

การคำนวณค่าความยากง่ายของข้อมูลใช้สูตร

$$P = \frac{(R_U + R_L)}{N}$$

เมื่อ P คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

ค่าของความยากง่ายของแบบทดสอบที่ใช้ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-0.8

ตารางที่ ง-4 การวิเคราะห์หาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 2

ข้อที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
เด็กเก่ง	1	9	7	6	2	4	7	2	6	1	5	5	4	4	5
เด็กอ่อน	1	7	8	2	3	1	5	2	2	1	3	5	2	3	5
D	0	0.2	-0.1	0.4	-0.1	0.3	0.2	0	0.4	0	0.2	0	0.2	0.1	0

การคำนวณค่าอำนาจจำแนกของข้อมูลใช้สูตร

$$D = \frac{(R_U - R_L)}{N}$$

เมื่อ D คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนคนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

อำนาจจำแนก (D) ของแบบทดสอบที่ใช้ได้มีค่าตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

ตารางที่ ง-5 การวิเคราะห์หาความยากง่ายของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 2

ข้อที่	ค่าความยาก (Difficulty)	แปลความหมาย	ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)	แปลความหมาย
1	0.1	ยากมาก	0.00	จำแนกต่ำ
2	0.8	ค่อนข้างง่าย	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
3	0.75	ค่อนข้างง่าย	-0.10	ไม่จำแนก
4	0.4	ยากง่ายพอเหมาะ	0.40	จำแนกสูง
5	0.25	ค่อนข้างยาก	-0.10	ไม่จำแนก
6	0.25	ค่อนข้างยาก	0.30	จำแนกปานกลาง
7	0.6	ยากง่ายพอเหมาะ	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
8	0.2	ค่อนข้างยาก	0.00	จำแนกต่ำ
9	0.4	เยากง่ายพอเหมาะ	0.40	จำแนกสูง
10	0.1	ยากมาก	0.00	จำแนกต่ำ
11	0.4	ยากง่ายพอเหมาะ	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
12	0.5	ยากง่ายพอเหมาะ	0.00	อำนาจจำแนกต่ำ
13	0.3	ค่อนข้างยาก	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
14	0.35	ค่อนข้างยาก	0.10	จำแนกต่ำ
15	0.5	ยากง่ายพอเหมาะ	0.00	จำแนกต่ำ

แบบทดสอบที่อยู่ในเกณฑ์นำไปใช้ได้ คือ 2 4 6 7 9 11 13 จำนวน 7 ข้อ

การคำนวณค่าความยากง่ายของข้อมูลใช้สูตร

$$P = \frac{(R_U + R_L)}{N}$$

เมื่อ P คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

ค่าของความยากง่ายของแบบทดสอบที่ใช้ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-0.8

ตารางที่ ง-6 การวิเคราะห์หาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 3

ข้อที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
เด็กเก่ง	2	6	10	8	7	9	2	7	7	5	1	3	3	2	4
เด็กอ่อน	1	1	7	4	3	4	4	7	4	3	5	3	3	0	0
D	0.1	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	-0.2	0	0.3	0.2	-0.4	0	0	0.2	0.4

การคำนวณค่าอำนาจจำแนกของข้อมูลใช้สูตร

$$D = \frac{(R_U - R_L)}{N}$$

เมื่อ D คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนคนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

อำนาจจำแนก (D) ของแบบทดสอบที่ใช้ได้มีค่าตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

ตารางที่ ง-7 การวิเคราะห์หาความยากง่ายของแบบทดสอบหลังหน่วยเรียนที่ 3

ข้อที่	ค่าความยาก (Difficulty)	แปลความหมาย	ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)	แปลความหมาย
1	0.15	ยากมาก	0.10	จำแนกต่ำ
2	0.35	ค่อนข้างยาก	0.50	จำแนกสูง
3	0.85	ง่ายมาก	0.30	จำแนกปานกลาง
4	0.6	ยากง่ายพอเหมาะ	0.40	จำแนกสูง
5	0.5	ยากง่ายพอเหมาะ	0.40	จำแนกสูง
6	0.65	ค่อนข้างง่าย	0.50	จำแนกสูง
7	0.3	ค่อนข้างยาก	-0.20	ไม่จำแนก
8	0.7	ค่อนข้างง่าย	0.00	จำแนกต่ำ
9	0.55	ยากง่ายพอเหมาะ	0.30	จำแนกปานกลาง
10	0.4	ยากง่ายพอเหมาะ	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
11	0.3	ค่อนข้างยาก	-0.40	ไม่จำแนก
12	0.3	ค่อนข้างยาก	0.00	จำแนกต่ำ
13	0.3	ค่อนข้างยาก	0.00	จำแนกต่ำ
14	0.1	ยากมาก	0.20	จำแนกค่อนข้างต่ำ
15	0.2	ค่อนข้างยาก	0.40	จำแนกสูง

แบบทดสอบที่อยู่ในเกณฑ์นำไปใช้ได้ คือ 2 4 5 6 9 10 15 จำนวน 7 ข้อ

การคำนวณค่าความยากง่ายของข้อมูลใช้สูตร

$$P = \frac{(R_U + R_L)}{N}$$

เมื่อ P คือ ค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ

R_U คือ จำนวนคนที่ทำข้อสอบได้ในกลุ่มสูง

R_L คือ จำนวนที่ทำแบบทดสอบได้ในกลุ่มต่ำ

N คือ จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

ค่าของความยากง่ายของแบบทดสอบที่ใช้ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-0.8

ภาคผนวก จ

- คะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังหน่วยเรียน
- คะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตารางที่ จ-1 คะแนนแบบทดสอบหลังหน่วยเรียน ค่าร้อยละของผู้เรียน

ลำดับ	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	หน่วยที่ 1 12 ข้อ	หน่วยที่ 2 12 ข้อ	หน่วยที่ 3 12 ข้อ	จำนวนข้อทั้งหมด	%
1	53-020215-1106-2	บุญเลิศ ลมลอย	11	8	9	28	77.78
2	53-020215-1107-1	อธิวัฒน์ สีสด	8	7	9	24	66.67
3	53-020215-1108-9	วรัญญู ศรีชัยภูมิ	8	8	11	27	75.00
4	53-020215-1109-7	ประภาส ผุดผาด	10	8	9	27	75.00
5	53-020215-1110-7	สุภัทรา ปัตเมฆ	9	8	9	26	72.22
6	53-020215-1111-9	พลวัชร เก่งนำชัยตระกูล	11	7	10	28	77.78
7	53-020215-2101-7	คชานนท์ อ.ศิริวิจิตรพันธ์	12	7	8	27	75.00
8	53-020215-2102-5	กฤษฎา สุขพิบูลย์	10	7	10	27	75.00
9	53-020215-2104-1	จตุรงค์ เกษตรบริบูรณ์	11	7	10	28	77.78
10	53-020215-2106-8	รุ่งโรจน์ สหรั่งโรจน์	9	8	8	25	69.44
11	53-020215-2107-6	เกษม ท้วมจันทร์	12	7	8	27	75.00
12	53-020215-2108-4	ประสิทธิ์ บุญยัง	10	9	9	28	77.78
13	53-020215-2109-2	ศศิประภา อุประถัมภ์	9	8	9	26	72.22
14	53-020215-2110-6	ชลิต ไพราม	10	6	8	24	66.67
15	53-020215-2111-4	ณรัฐพงศ์ รจนา	11	8	9	28	77.78
16	53-020215-2113-4	ศุภกานต์ อยู่ลำ	9	7	8	24	66.67
17	53-020215-2114-9	อติพล หาญชนะชัย	10	8	9	27	75.00
18	53-020215-2115-7	นฤเบศร์ เสวกพันธ์	9	7	10	26	72.22
19	53-020215-2116-5	โฆษิต พวงธรรม	6	7	8	21	58.33
20	53-020215-2117-8	เสกสรร ขันทอง	10	9	9	28	77.78
21	53-020215-2118-1	พงศ์พิณิช ทรงปั่น	9	8	10	27	75.00
22	53-020215-2119-0	สามารถ แก้วพุฒตาล	10	8	9	27	75.00
23	53-020215-2121-1	เอกพันธ์ ทัศนาวิวัฒน์	9	8	10	27	75.00

ตารางที่ จ-2 สรุปคะแนนแบบทดสอบหลังหน่วยเรียน ค่าร้อยละของผู้เรียน

หน่วยที่	หน่วยที่ 1	หน่วยที่ 2	หน่วยที่ 3	รวมทั้งหมด
รวม	223	175	209	607
เฉลี่ย	9.70	7.61	9.09	26.39
%	80.80	63.41	75.72	73.31

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพ E1 = 73.31

ตารางที่ จ-3 คะแนนแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และค่าร้อยละ

ลำดับ	รหัส	ชื่อ-นามสกุล	คะแนนหลังเรียน	%
1	53-020215-1106-2	บุญเลิศ ลมลอย	30	83.33
2	53-020215-1107-1	อธิวัฒน์ สีสด	30	83.33
3	53-020215-1108-9	วรัญญู ศรีชัยภูมิ	27	75.00
4	53-020215-1109-7	ประภาส ผุดผาด	25	69.44
5	53-020215-1110-7	สุภัทรา ปัตเมฆ	17	47.22
6	53-020215-1111-9	พลวัชร เก่งนำชัยตระกูล	27	75.00
7	53-020215-2101-7	คชานนท์ อ.ศิริวิจิตรพันธ์	31	86.11
8	53-020215-2102-5	กฤษฎา สุขพิบูลย์	29	80.56
9	53-020215-2104-1	จตุรงค์ เกษตรบริบูรณ์	30	83.33
10	53-020215-2106-8	รุ่งโรจน์ สหรั่งโรจน์	27	75.00
11	53-020215-2107-6	เกษม ท้วมจันทร์	30	83.33
12	53-020215-2108-4	ประสิทธิ์ บุญยัง	26	72.22
13	53-020215-2109-2	ศศิประภา อุประถัมภ์	28	77.78
14	53-020215-2110-6	ชลิต ไพราม	29	80.56
15	53-020215-2111-4	ณรัฐพงศ์ รจนา	25	69.44
16	53-020215-2113-4	ศุภกานต์ อยู่ลำ	29	80.56
17	53-020215-2114-9	อติพล หาญชนะชัย	25	69.44
18	53-020215-2115-7	นฤเบศร์ เสวกพันธ์	28	77.78
19	53-020215-2116-5	โฆษิต พวงธรรม	28	77.78
20	53-020215-2117-8	เสกสรร ขันทอง	24	66.67
21	53-020215-2118-1	พงศ์พิณิช ทรงปั่น	28	77.78
22	53-020215-2119-0	สามารถ แก้วพุฒตาล	29	80.56
23	53-020215-2121-1	เอกพันธ์ ทัศนาวิวัฒน์	28	77.78
		รวม	630	1750.00
		เฉลี่ย	27.39	76.09

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพ E2 = 76.09

ภาคผนวก ฉ

- รายนามผู้เชี่ยวชาญ
- หนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ
- แบบประเมินชุดการสอน
- ผลวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสอน

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

วิทยานิพนธ์เรื่อง : การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่องวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

ผู้วิจัย : นางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสุทธิ์ วิวัฒน์วิศวกร
คอม. สาขาวิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2. อาจารย์ วิรัติ อัศวานุวัตร
คอม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3. อาจารย์ ศรัณย์ ชูคดี
คอม. สาขาวิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะ/หน่วยงานเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. อาจารย์ ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง
ปรด. สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ประจำมหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลลัยศรีวิชัย

5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัฐพล จินะวงศ์
คอม. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่ ศธ 0525.3(2)/ ๑๑๑

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

28 กันยายน 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ วิวัฒน์วิศวกร

ด้วยนางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคพิมากูล ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ กรรมการ

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่จะขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดการสอน เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ชูชาติ สีเทา)
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทร/โทรสาร 0-2587-8255

ที่ ศธ 0525.3(2)/ ๑๔๘

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

28 กันยายน 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์วิรัติ อัศวานุวัตร

ด้วยนางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคทิมากูล ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ กรรมการ

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่จะขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดการสอน เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ชูชาติ สีเทา)
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทร/โทรสาร 0-2587-8255

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

ที่ ศธ 0525.3(2)/๔๑๑

28 กันยายน 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์ศรัณย์ ชูคดี

ด้วยนางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคทิมากูล ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ กรรมการ

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่จะขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดการสอน เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ชูชาติ สีเทา)
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทร/โทรสาร 0-2587-8255

ที่ ศธ 0525.3(2)/เรื่อง

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

28 กันยายน 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อาจารย์สมมารถ ขำเกลี้ยง

ด้วยนางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคทิมากูล ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ กรรมการ

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่จะขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดการสอน เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ชูชาติ สีเทา)
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทร/โทรสาร 0-2587-8255

ที่ ศธ 0525.3(2)/๑๑๗

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

28 กันยายน 2552

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัฐพล จินะวงค์

ด้วยนางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคทิมากูล ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ กรรมการ

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่จะขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดการสอน เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(อาจารย์ชูชาติ สีเทา)
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทร/โทรสาร 0-2587-8255

แบบประเมินชุดการสอน

แบบประเมินชุดการสอนนี้ เป็นแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่องวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ วิชาข่ายการสื่อสารและสายส่ง ข้อมูลในแบบสอบถามนี้ จะนำไปใช้เพื่อการพัฒนารูปแบบและคุณภาพการจัดการเรียนการสอนที่ต้องการข้อมูลที่แท้จริง ซึ่งผู้ทำวิจัยขอรับรองว่าจะไม่มีผลกระทบต่อผู้ให้ข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่1 ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของผู้ตอบแบบประเมิน

ตอนที่2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดการสอนและข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

- ด้านใบเนื้อหา
- ด้านแบบทดสอบ
- ด้านสื่อการสอน (โปรแกรม, ชุดสาธิต, ชุดการนำเสนอสื่อการสอนเพาเวอร์พอยต์)

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของผู้ตอบแบบประเมิน

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ลงในวงเล็บ หน้าข้อความที่ตรงกับความจริง

1. ระดับการศึกษา	(...) ปริญญาตรี (...) ปริญญาโท (...) ปริญญาเอก (...) อื่นๆ โปรดระบุ.....
2.ประสบการณ์/งานสอนที่เกี่ยวข้อง (สามารถทำเครื่องหมายได้มากกว่า 1 ช่อง)	(...) ไฟฟ้า (...) อิเล็กทรอนิกส์ (...) โทรคมนาคม (...) เครื่องมือวัดและควบคุม (...) อื่นๆ โปรดระบุ..... ....
3. ประสบการณ์การทำงาน	(...) น้อยกว่า 5 ปี (...) ระหว่าง 6-10 ปี (...) ระหว่าง 11-15 ปี (...) มากกว่า 15 ปี

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดการสอนและข้อเสนอแนะในการปรับปรุง โดยพิจารณาข้อความในแต่ละข้อแล้วทำเครื่องหมาย "✓"ลงในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่าน

ระดับความคิดเห็น ระดับ 5 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด ระดับ 4 หมายถึง เห็นด้วยมาก
ระดับ 3 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง เห็นด้วยน้อย
ระดับ 1 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

ข้อที่	คำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ด้านใบเนื้อหา					
1	ใบเนื้อหาครบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	...	...	...	...	...
2	การจัดเรียงลำดับเนื้อหาเหมาะสม	...	...	...	...	...
3	ภาพประกอบมีความเหมาะสมกับเนื้อหา	...	...	...	...	...
4	เนื้อหามีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	...	...	...	...	...
5	เนื้อหามีความถูกต้องและปริมาณเหมาะสม	...	...	...	...	...

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านใบเนื้อหา..... .....
.....
.....

ข้อที่	คำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ด้านแบบทดสอบ					
1	คำถามตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	...	...	...	...	...
2	จำนวนข้อสอบเหมาะกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	...	...	...	...	...
3	คำถามและคำตอบมีเป้าหมายที่ชัดเจน	...	...	...	...	...
4	คำถามชัดเจนไม่คลุมเครือมีตัวลวงที่ดี	...	...	...	...	...
5	คำถามมีความยากง่ายเหมาะสม	...	...	...	...	...

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านแบบทดสอบ..... .....
.....
.....
.....

ข้อที่	คำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ด้านสื่อการสอน ประเภทโปรแกรม					
1	สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ในการสอน	...	...	...	...	...
2	การจัดวางส่วนต่าง ๆ บนจอภาพเหมาะสม	...	...	...	...	...
3	สีและขนาดตัวอักษรบนจอภาพเหมาะสมเห็นชัดเจน	...	...	...	...	...
4	มีความรวดเร็วและถูกต้องในการคำนวณและแสดงผล	...	...	...	...	...
5	ความสะดวกในการใช้งานของแต่ละเมนู	...	...	...	...	...

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านสื่อการสอนประเภทโปรแกรม..... .....

.....

.....

.....

.....

ข้อที่	คำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ด้านสื่อการสอน ประเภทชุดสาธิต					
1	สอดคล้ององกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ในการสอน	...	...	...	...	...
2	ออกแบบวงจรได้ถูกต้องและเหมาะสม	...	...	...	...	...
3	ใช้สีและขนาดเหมาะสม	...	...	...	...	...
4	วัสดุที่ใช้ผลิตอุปกรณ์มีอยู่ทั่วไปและซื้อหาได้ง่าย	...	...	...	...	...
5	ความสะดวกในการใช้งานและเก็บรักษา	...	...	...	...	...

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านสื่อการสอนประเภทชุดสาธิต..... .....

.....

.....

.....

.....

ข้อที่	คำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ด้านสื่อการสอน Power Point					
1	มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	...	...	...	...	...
2	การเรียงลำดับเนื้อหามีความสัมพันธ์กัน	...	...	...	...	...
3	สีและตัวอักษรมีขนาดเหมาะสมและสวยงาม	...	...	...	...	...
4	ภาพประกอบมีความสัมพันธ์กับเนื้อหา	...	...	...	...	...
5	ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว	...	...	...	...	...

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านสื่อการสอน Power Point. ....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

ตารางที่ ฉ-1 ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดการสอนที่ได้จากการประเมินความคิดของผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
	ด้านใบเนื้อหา			
1.	ใบเนื้อหาครบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	4.8	0.45	มากที่สุด
2.	การจัดเรียงลำดับเนื้อหาเหมาะสม	4.8	0.45	มากที่สุด
3.	ภาพประกอบมีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.8	0.45	มากที่สุด
4.	เนื้อหามีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.4	0.55	มาก
5.	เนื้อหามีความถูกต้องและปริมาณเหมาะสม	4.6	0.55	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย		4.68		มากที่สุด
	ด้านแบบทดสอบ			
1.	คำถามตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	4.4	0.55	มาก
2.	จำนวนข้อสอบเหมาะกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	4.6	0.55	มากที่สุด
3.	คำถามและคำตอบมีเป้าหมายที่ชัดเจน	4.6	0.55	มากที่สุด
4.	คำถามชัดเจนไม่คลุมเครือมีตัวลวงที่ดี	3.6	0.55	มาก
5.	คำถามมีความยากง่ายเหมาะสม	4.6	0.55	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย		4.36		มาก
	ด้านสื่อการสอน ประเภทโปรแกรม			
1.	สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ในการสอน	5	0.00	มากที่สุด
2.	การจัดวางส่วนต่าง ๆ บนจอภาพเหมาะสม	4.4	0.89	มาก
3.	สีและขนาดตัวอักษรบนจอภาพเหมาะสมเห็นชัดเจน	4	1.00	มาก
4.	มีความรวดเร็วและถูกต้องในการคำนวณและแสดงผล	4.6	0.55	มากที่สุด
5.	ความสะดวกในการใช้งานของแต่ละเมนู	4.6	0.55	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย		4.52		มากที่สุด

ตารางที่ ฉ-1 (ต่อ)

ลำดับ	ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	<u>ด้านสื่อการสอน ประเภทชุดสาธิต</u>			
1.	สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ในการสอน	4.8	0.45	มากที่สุด
2.	ออกแบบวงจรได้ถูกต้องและเหมาะสม	4.4	0.55	มาก
3.	ใช้สีและขนาดเหมาะสม	4.4	0.55	มาก
4.	วัสดุที่ใช้ผลิตอุปกรณ์มีอยู่ทั่วไปและซื้อหาได้ง่าย	5	0.00	มากที่สุด
5.	ความสะดวกในการใช้งานและเก็บรักษา	4.2	0.45	มาก
ค่าเฉลี่ย		4.56		มากที่สุด
	<u>ด้านสื่อการสอน Power Point</u>			
1.	มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.8	0.45	มากที่สุด
2.	การเรียงลำดับเนื้อหามีความสัมพันธ์กัน	4.8	0.45	มากที่สุด
3.	สีและตัวอักษรมีขนาดเหมาะสมและสวยงาม	4	0.71	มาก
4.	ภาพประกอบมีความสัมพันธ์กับเนื้อหา	4.4	0.55	มาก
5.	ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว	4.4	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ย		4.48		มาก
เฉลี่ยรวมทุกด้าน		4.52		มากที่สุด

ภาคผนวก ช

- ตัวอย่างคู่มือครู
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

หน่วยการเรียนที่ 1

วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive Filter Circuit)

รายละเอียดของเนื้อหา

บรรยายหลักการของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer การคำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินิน การแปลงความถี่และอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ และการออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำผ่าน

หัวข้อเนื้อหา

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive Filter Circuit)

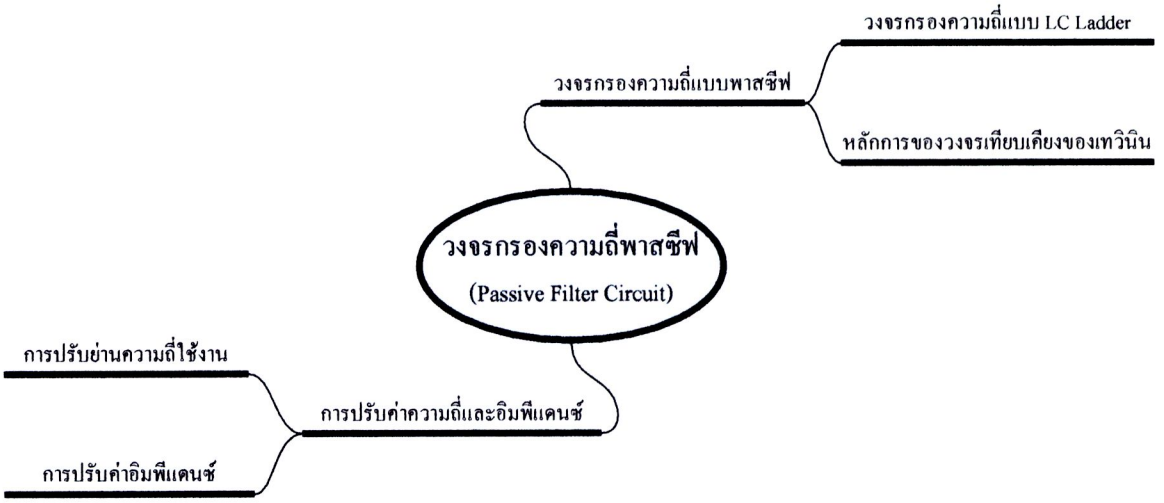
1.1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

1.2 การปรับค่าความถี่และอิมพีแดนซ์

1.2.1 การปรับย่านความถี่ใช้งาน

1.2.2 การปรับค่าอิมพีแดนซ์

แผนภาพปะการัง

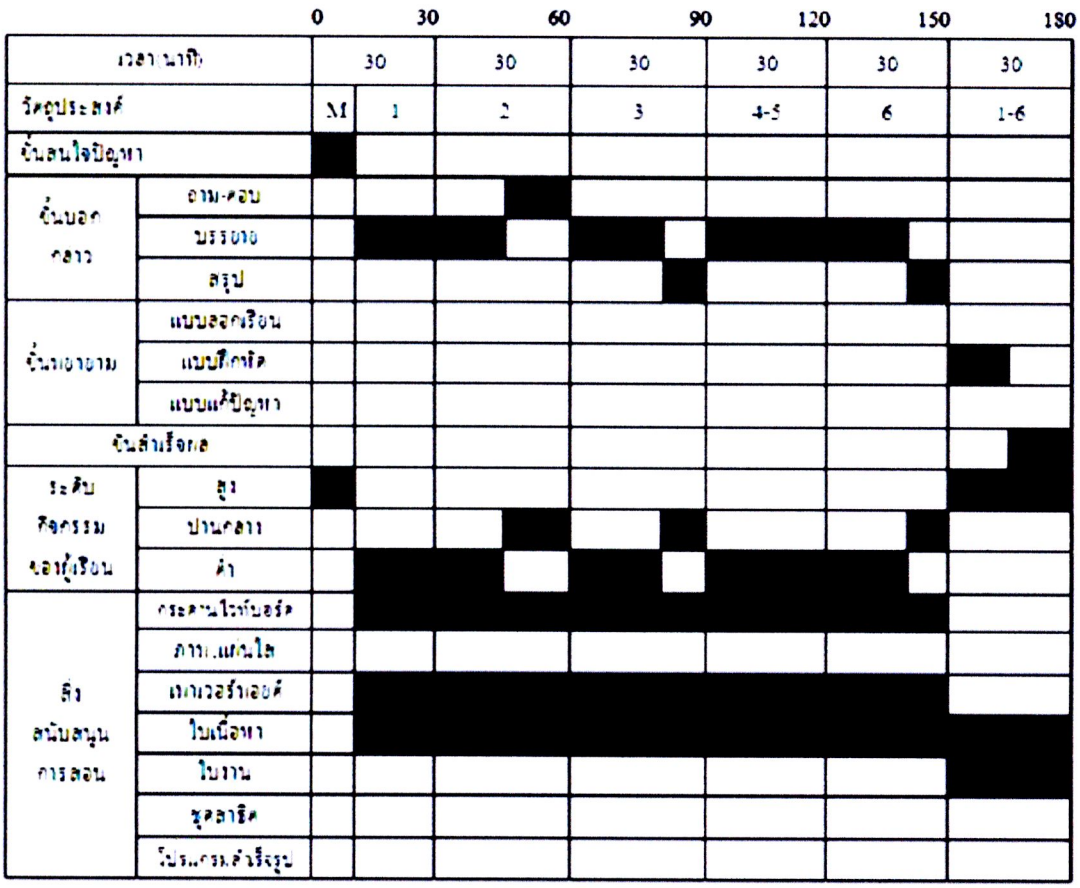


วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายหลักการของวงจรกรองความถี่พาสซีฟได้
2. วิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer ได้
3. คำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินินได้
4. แปลงความถี่ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้
5. แปลงอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ให้ถูกต้องได้
6. ออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่ต่ำผ่านได้

ตารางปฏิบัติการสอน

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive Filter Circuit)



แบบร่างกระดาน

หน่วยที่ 1

วงจรกรองความถี่พาสซีฟ
Passive Filter Circuit

หน่วยที่ 1
วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive Filter Circuit)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

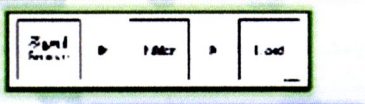
1. วิธีการหลักการของวงจรกรองความถี่พาสซีฟได้
2. วิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder โดยวิธีการของ Cauer ได้
3. คำนวณวงจรกรองความถี่โดยใช้หลักการของวงจรเทียบเคียงของเทวินได้
4. เปลี่ยนความถี่ในวงจรกรองความถี่ให้อยู่ตัวได้
5. เปลี่ยนอิมพีแดนซ์ในวงจรกรองความถี่ให้อยู่ตัวได้
6. ออกแบบวงจรต้นแบบของกรองความถี่สำผ่านได้

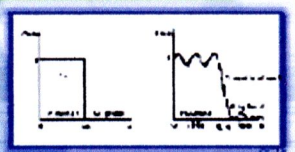
หน่วยที่ 1
วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive Filter Circuit)

- วัตถุประสงค์ที่ใช้งานในวงจรวิเคราะห์ชีวภาพต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีค่าความถี่ต่ำๆ
- ระบบโทรศัพท์ ช่วงความถี่ของเสียงที่ใช้จะมีค่าประมาณ 10.7 MHz ดังนั้นความถี่ต่ำๆ จะต้องถูกตัดทิ้งไป
- การออกแบบระบบจำแนกของสิ่งที่ทำงานกันในลักษณะนี้จะเรียกว่า จำแนกวงจรกรองความถี่สัญญาณไฟฟ้า (Electric filter network) มีอยู่หลายชนิด ได้แก่

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	วงจรกรองความถี่ผ่านผ่าน
วงจรกรองความถี่ผ่านผ่าน	วงจรกรองความถี่ผ่านหยุด

วงจรกรองความถี่และการตอบสนองทางความถี่





1.1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

วิธีการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่างๆ มีเทคนิคดังนี้

1. สร้างวงจรกรองความถี่ต้นแบบที่มีความต้านทานปลายทางเป็นหนึ่งหน่วย

$$Z_{21}(s) = \frac{V_2}{I_1}$$

หรือ ขนาดแอดมิตแตนซ์

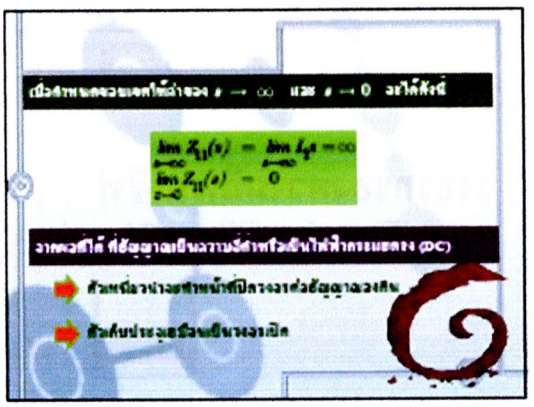
$$Y_{21}(s) = \frac{I_2}{V_1}$$

---

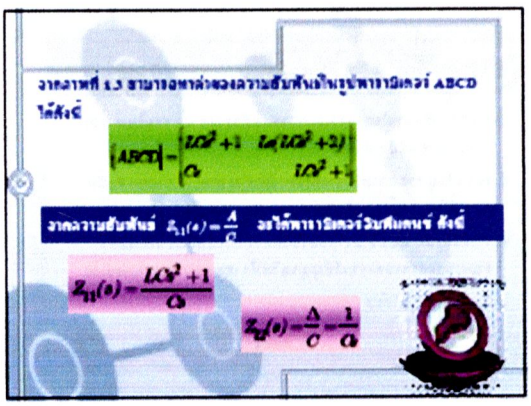
2. วงจรกรองความถี่ต่ำ จะสร้างโดยอาศัยวงจรของวงจร

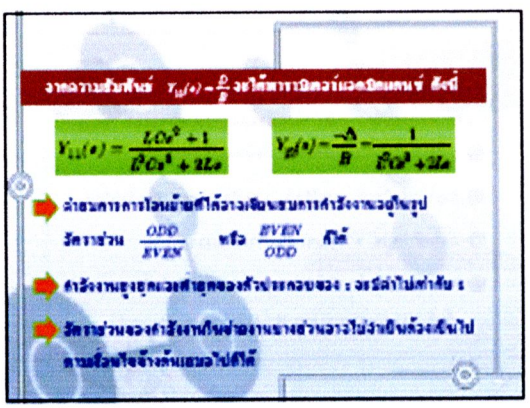
- L-Series โดยจะขนานตัวเหนี่ยวนำ L จะมีความต้านทานสำหรับความถี่ต่ำ
- C-parallel โดยจะขนานตัวเก็บประจุ C จะมีความต้านทานสำหรับความถี่สูง
- ความต้านทาน R ไว้ขนานกับวงจรที่ทางออก
- ขนาดของโอนย้ายที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวตั้ง (Numerator) กับตัวหาร (Denominator) จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1

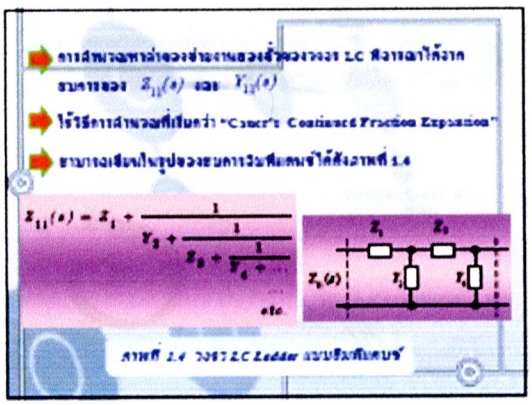
ตัวอย่าง 2.2 หาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรเมื่อ s → ∞ และ s → 0
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างการคำนวณ
ขยายอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรออกมาเป็นเศษส่วนได้ดังนี้

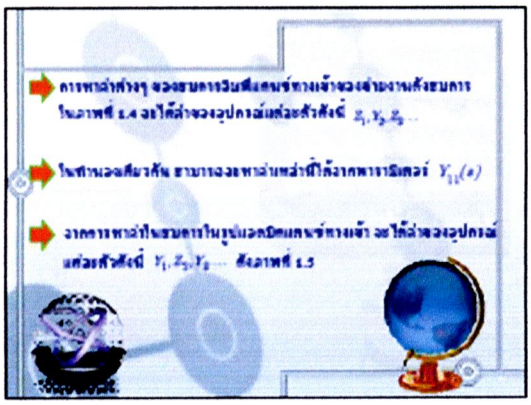

เมื่อพิจารณาขอบเขตที่ค่าของ s → ∞ และ s → 0 จะได้ดังนี้
จากตัวอย่างที่ 2.2 เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

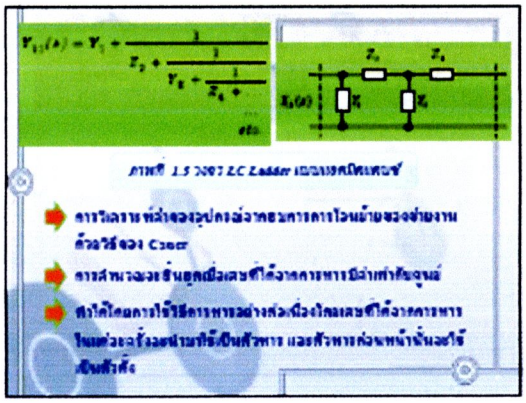
โดยทั่วไปฟังก์ชันอิมพีแดนซ์ Z และ Y สำหรับวงจรทางไฟฟ้า สามารถแสดงในรูปของโพลีโนเมียล (Polynomial) ได้
ลำดับของโพลีโนเมียลประกอบด้วย
กำลังงานคู่ (Even power)
และหรือ
กำลังงานคี่ (Odd power)
ของตัวประกอบ s
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างของวงจร LC

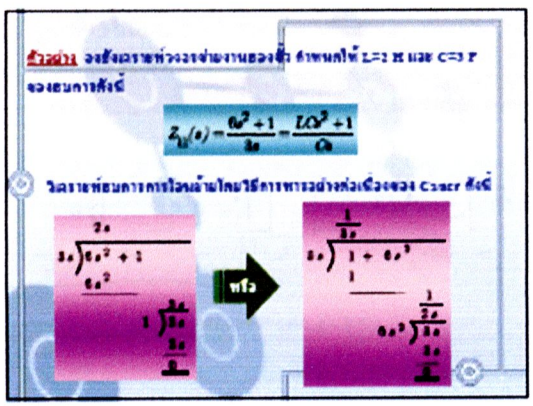

จากภาพที่ 2.3 สามารถหาค่าของฟังก์ชันในรูปพารามิเตอร์ ABCD ได้ดังนี้
จากฟังก์ชัน จะได้พารามิเตอร์อิมพีแดนซ์ ดังนี้

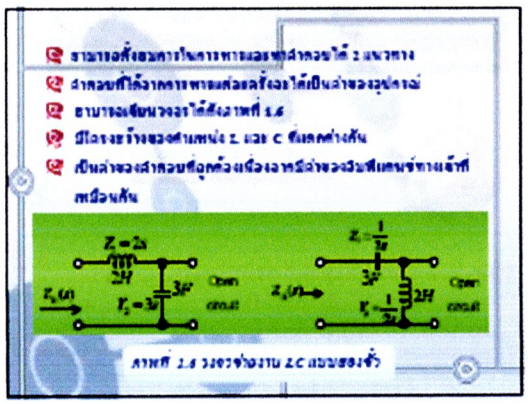

จากฟังก์ชัน จะได้พารามิเตอร์แอดมิแดนซ์ ดังนี้
ลำดับการโพลีโนเมียลได้ถูกเขียนขยายการสำรังงานออกในรูป
หรือ
สำรังงานสูงสุดและต่ำสุดของตัวประกอบของ s จะมีค่าไม่เท่ากัน s
วัดอาร์ของสำรังงานในช่วงเส้นรอบวงไม่ว่าเป็นเส้นรอบวงเปิดไปดีใจจังเลยอีกต่อไปดีใจ


การสังเกตหาค่าของค่าของสัญญาณของวงจร LC ที่จากได้จาก
ฟังก์ชันของ และ
ใช้วิธีการคำนวณที่เรียกว่า "Cauer's Continued Fraction Expansion"
สามารถเขียนในรูปของขยายการวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 2.4
ภาพที่ 2.4 วงจร LC Ladder แบบอิมพีแดนซ์

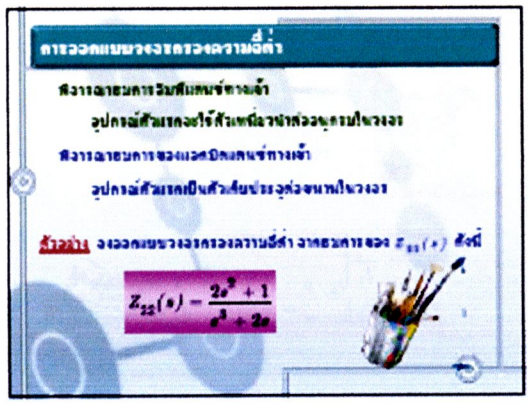

การหาค่าต่างๆ ของแบบการวินิจฉัยแบบช่างเข้าของค่าของงานสังเกตการ
ในภาพที่ 1.4 จะได้ค่าของอุปกรณ์แต่ละตัวสังนี้ $Z_1, Y_2, Z_3 \ldots$
ในทางกลับกัน สามารถหาค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ $Y_{11}(s)$
จากการหาค่าในแบบการในรูปแบบวินิจฉัยแบบช่างเข้า จะได้ค่าของอุปกรณ์
แต่ละตัวสังนี้ $Y_1, Z_2, Y_3 \ldots$ สังภาพที่ 1.5

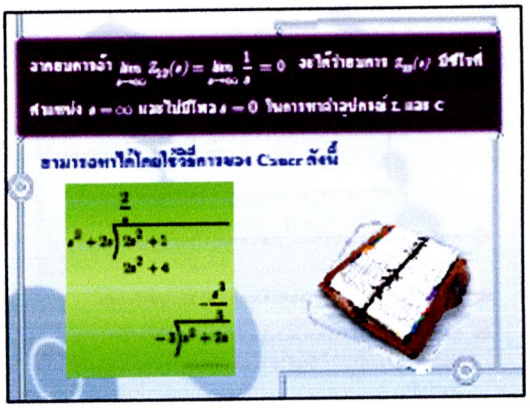

ภาพที่ 1.5 วงจร LC Ladder แบบแยกวิเคราะห์
การวิเคราะห์ค่าของอุปกรณ์จากแบบการการโอนย้ายของค่าของงาน
ด้วยวิธีของ Cauer
การสังเกตของอันดับเลขที่ได้จากการหารมีค่าเท่ากับจุนย์
ทำให้ได้ผลการใช้วิธีการหารต่างต่อเนื่องโดยเลขที่ได้จากการหาร
ในแต่ละครั้งจะนำมาที่เป็นตัวหาร และตัวหารก่อนหน้านั้นจะใช้
เป็นตัวตั้ง

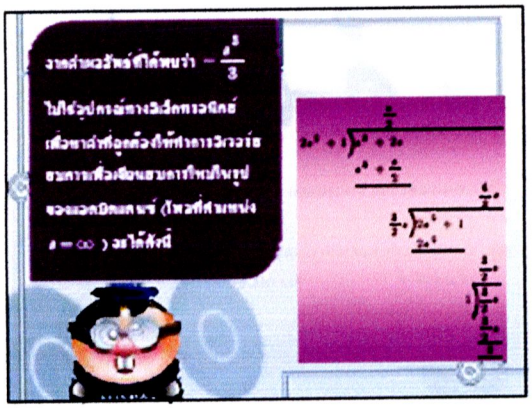

ตัวอย่าง จงสังเคราะห์วงจรต่างงานของตัว กำหนดให้ L=2 H และ C=3 F
ของแบบการสังนี้
$Z_{11}(s) = \frac{6s^2+1}{3s} = \frac{L\omega^2+1}{Cs}$
วิเคราะห์แบบการการโอนย้ายโดยวิธีการหารต่างต่อเนื่องของ Cauer สังนี้
หรือ

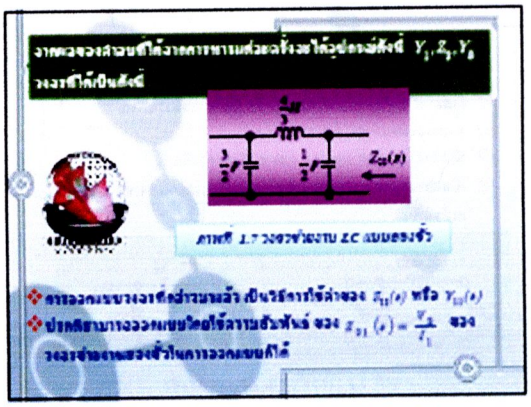

สามารถสังแบบการในการหารแบบต่างๆ ได้ 2 แนวทาง
ค่าของที่ได้จากการหารแต่ละครั้งจะได้เป็นค่าของอุปกรณ์
สามารถเขียนวงจรได้สังภาพที่ 1.6
มีโครงสร้างของต้านหน้า L และ C ที่แยกต่างกัน
เป็นค่าของค่าของที่ถูกต้องเมื่อเราหาค่าของวินิจฉัยแบบช่างเข้าที่
เหมือนกัน
Open circuit
Open circuit
ภาพที่ 1.6 วงจรต่างงาน LC แบบของตัว

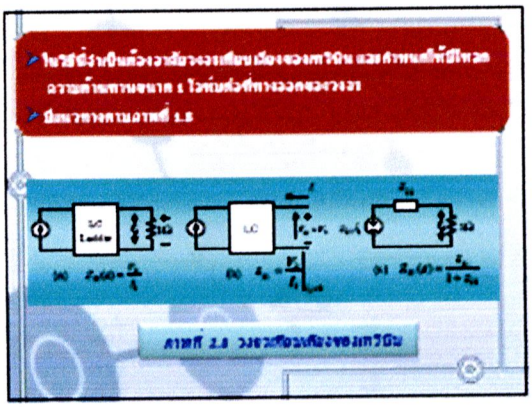
พิจารณาตัวอย่างข้างต้น พบว่าแบบการการโอนย้ายของ $Z_{11}(s)$
ปัจจัยที่ต้านหน่ง $s = \pm j\frac{1}{\sqrt{6}}$
และ โพลที่ต้านหน่ง $s = 0$
จากวงจรที่ได้ สามารถแยกวงจรวินิจฉัยได้สังนี้
$Z_{11}(s) = \lim_{s\to\infty} \frac{6s^2+1}{3s} = 2s$
$Z_{11}(s) = \lim_{s\to 0} \frac{6s^2+1}{3s} = \infty$

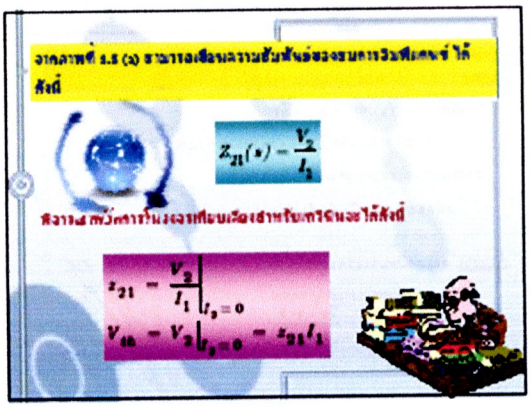

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ
พิจารณาแบบการวินิจฉัยแบบช่างเข้า
อุปกรณ์ตัวแรกจะใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อขนานในวงจร
พิจารณาแบบการของแบบวินิจฉัยแบบช่างเข้า
อุปกรณ์ตัวแรกเป็นตัวเก็บประจุต่อขนานในวงจร
ตัวอย่าง จงออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ จากแบบการของ $Z_{11}(s)$ สังนี้
$Z_{11}(s) = \frac{2s^3+1}{s^2+2s}$


สามารถหาได้โดยใช้วิธีการของ Cauer ดังนี้

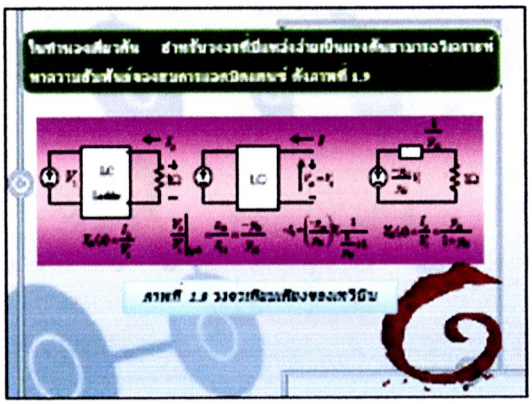

จากตัวอย่างที่ได้พบว่า
ในที่นี้จะนำเสนอวิธีการทางวิเคราะห์ เพื่อหาค่าที่ถูกต้องที่สำคัญในการวิเคราะห์ โดยการเพิ่มเติมจากการใช้หลักในรูปของแอดมิตแตนซ์ (โดยที่ส่วนของ) จะได้ดังนี้

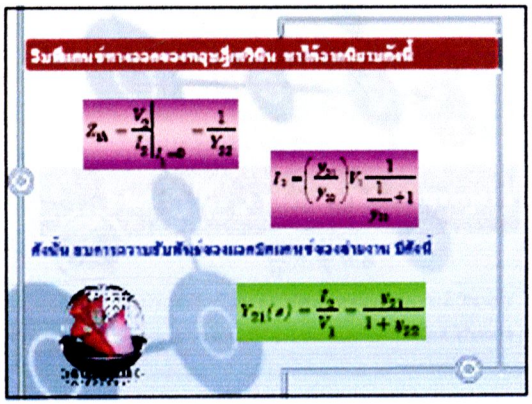

จากตัวอย่างข้างต้นที่ได้จากการหารแต่ละครั้งจะได้วงจรย่อยดังนี้ ซึ่งวงจรที่ได้เป็นดังนี้
ตัวอย่าง 5.7 วงจรต้านทาน LC แบบลดรูป
การวางวงจรย่อยข้างต้นนั้น เป็นวิธีการที่ใช้หาของ หรือ
ปกติเราสามารถวางวงจรโดยใช้ความสัมพันธ์ ของ ของวงจรย่อยแต่ละตัวในการวางวงจรได้

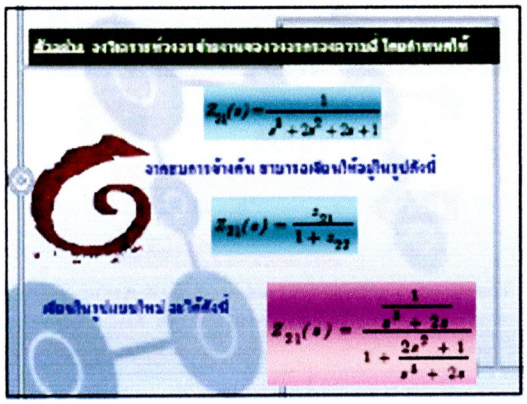

ในวิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยวงจรเทียบเคียงของเทวินิน และค่าพหุนามที่มีโดเมนความต้านทานขนาด 1 โวห์มต่อหนึ่งทางออกของวงจร
ดังแสดงในรูปที่ 5.8
รูปที่ 5.8 วงจรเทียบเคียงของเทวินิน

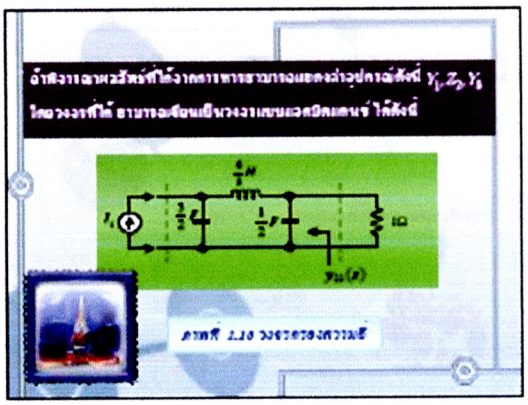

จากตัวอย่าง 5.8 (a) สามารถเขียนความสัมพันธ์ของขนาดวิบัติแตนซ์ ได้ดังนี้
พิจารณาที่ค่าความต้านทานจากวงจรเทียบเคียงสำหรับเทวินินจะได้ดังนี้

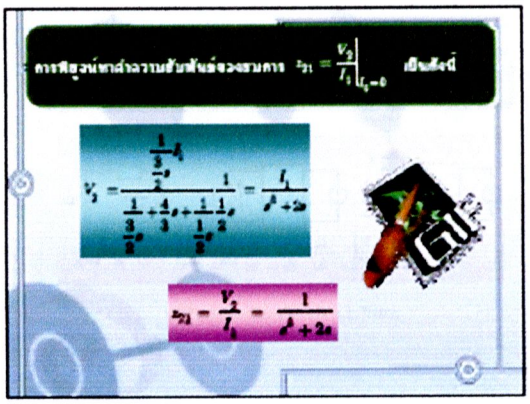
วิบัติแตนซ์ทางออกของหนุนสู่เทวินิน หาได้จากนิยามดังนี้
จากวงจรเทียบเคียงรูปที่ 5.7 (c) จากสมการแบ่งแรงดัน จะได้ดังนี้



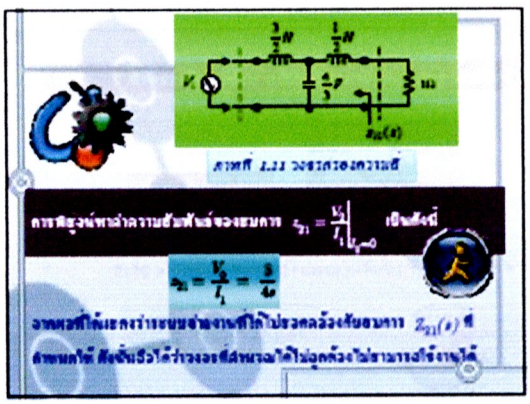


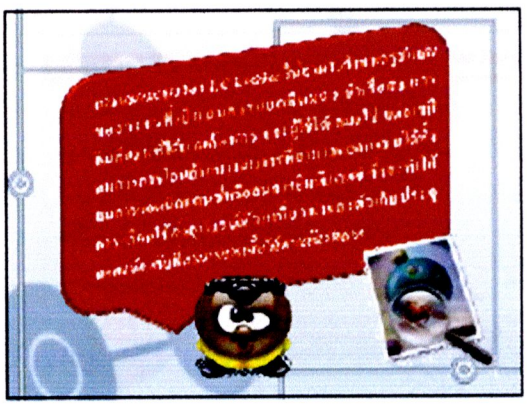


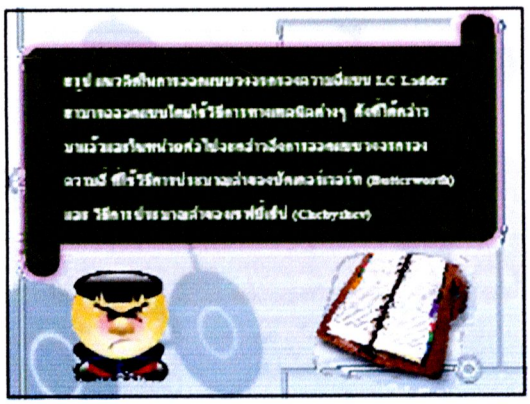

ถ้าพิจารณาผลตอบที่ได้จากการหาอนุกรมต่อของอิมพีแดนซ์ Y_1, Z_2, Y_3
โดยวงจรที่ได้ สามารถเขียนเป็นวงจรแบบแลดเดอร์ ได้ดังนี้
$\frac{4}{3}H$
$\frac{3}{2}\Omega$
$\frac{1}{2}F$
1Ω
$y_{21}(s)$
ตารางที่ 3.10 วงจรตัวอย่างความดี


การหาอนุพันธ์ความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน $z_{21} = \frac{V_2}{I_1}\Big|_{I_2=0}$ เป็นดังนี้
$\frac{1}{\frac{3}{2}s}$
$\frac{1}{\frac{2}{3}s}$
$\frac{1}{\frac{1}{2}s}$
$\frac{1}{\frac{3}{2}s}$
$\frac{1}{\frac{1}{2}s}$
$\frac{I_1}{s^3+2s}$
$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{1}{s^3+2s}$

จากตัวอย่างที่ผ่านมาเราสามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนแรงดันของวงจรได้ดังนี้
$Z_{21}(s) = \frac{1}{s^3+2s^2+2s+1}$
ดังนั้น
$Z_{21}(s) = \frac{z_{21}}{1+z_{22}} = \frac{\frac{1}{2s^2+1}}{1+\frac{s^3+2s}{2s^2+1}}$
และทำการคำนวณโดยวิธีการหาแบบทั่วไปของCauer ดังแนวทางที่ผ่านมา สามารถวาดวงจรที่ได้จากวิธีโครงข่ายบันไดของวิงเดียแลดเดอร์ ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

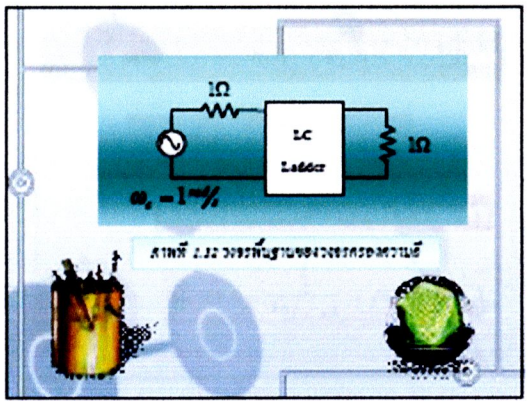

$\frac{3}{2}H$
$\frac{1}{3}H$
$\frac{4}{3}F$
1Ω
$z_{21}(s)$
ตารางที่ 3.11 วงจรตัวอย่างความดี
การหาอนุพันธ์ความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน $z_{21} = \frac{V_2}{I_1}\Big|_{I_2=0}$ เป็นดังนี้
$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{3}{4s}$
จากตัวอย่างที่ผ่านมาเราสามารถที่ได้ไปลองคลองเรียงสมการ $Z_{21}(s)$ ที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงได้ว่าวงจรที่คำนวณได้ไม่ลุดคล้องไม่สามารถใช้งานได้


ตารางแสดงการใช้ L-C Ladder ในการหาค่าของวงจรที่ต้องการ
ของวงจรที่ได้ ซึ่งสามารถใช้งานได้ และการที่
ผลการคำนวณโดยวิธีการหาแบบทั่วไปของ Cauer ดังแนวทางที่ผ่านมา
ตารางแสดงการใช้ L-C Ladder ในการหาค่าของวงจรที่ต้องการ


สรุป แนวคิดในการออกแบบวงจรตอบความถี่แบบ L-C Ladder
สามารถออกแบบโดยใช้วิธีการทางเทคนิคต่างๆ ดังที่ได้กล่าว
มาแล้วนอกจากนี้ยังมีวิธีการออกแบบของกรองความถี่ ที่ใช้วิธีการประมาณค่าของบัตเตอร์เวอร์ท (Butterworth)
และ วิธีการประมาณค่าของเชบีเชฟ (Chebyshev)

1.2 การปรับค่าความถี่และอิมพีแดนซ์

- การออกแบบวงจรกรองสัญญาณนั้น จะใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ผลต่างศักย์ เหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เพื่อควบคุมให้สัญญาณสามารถส่งผ่านหรือถูกกำจัดทิ้งไป
- การออกแบบในหลักการจำเป็นจะคำนวณให้ได้ค่าความถี่เชิงมุมที่ผ่านมีค่าเท่ากับ 1 rad/sec ($\omega = 1\ rad/s$)
- ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 1 โอห์ม
- ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับค่าความถี่และค่าอิมพีแดนซ์ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน

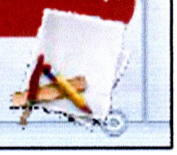


รูปที่ 1.11 วงจรพื้นฐานของวงจรกรองความถี่

1.2.1 การปรับค่าความถี่ใช้งาน (Frequency scaling)

การออกแบบใช้งานที่ค่าความถี่ใดๆ สามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เดิมและความถี่ใหม่ที่ต้องการใช้ เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ ω_{old} หมายถึง ความถี่ในวงจรตัวต้นแบบที่ถูกออกแบบไว้ และ ω_{new} หมายถึง ความถี่ที่ต้องการใช้งาน ดังนั้นสัมพันธ์ระหว่างความถี่ทั้งสองค่า เพื่อคำนวณค่าของตัวเหนี่ยวนำ, ω_s เป็นสเกล

$$\omega_s = \frac{\omega_{new}}{\omega_{old}}$$



ดังนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ความถี่เดิมและความถี่ใหม่จะต้องค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากัน ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\omega_{new} L_{new} = \omega_{old} L_{old}$$

แทนค่าความเหนี่ยวนำไวท์, ω_s ลงในสมการ จะเขียนได้ดังนี้

$$\omega_s \omega_{old} L_{new} = \omega_{old} L_{old}$$

$$L_{new} = \frac{L_{old}}{\omega_s}$$

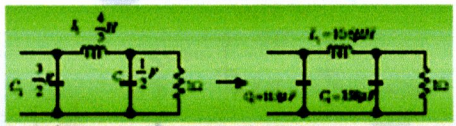
ในทำนองเดียวกัน สมการของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ความถี่เดิมและความถี่ใหม่จะต้องค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากัน เช่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{1}{\omega_{new} C_{new}} = \frac{1}{\omega_{old} C_{old}} \Rightarrow \omega_{new} C_{new} = \omega_{old} C_{old}$$

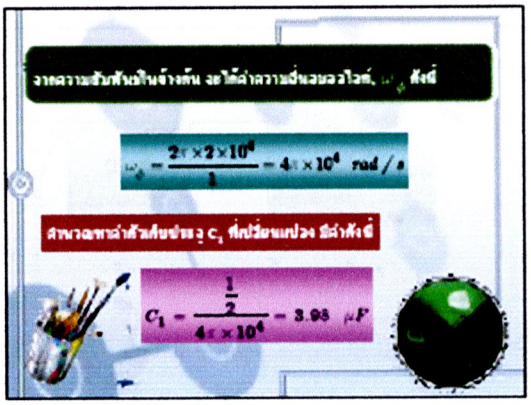
แทนค่าความเหนี่ยวนำไวท์, ω_s ลงในสมการ จะเขียนได้ดังนี้

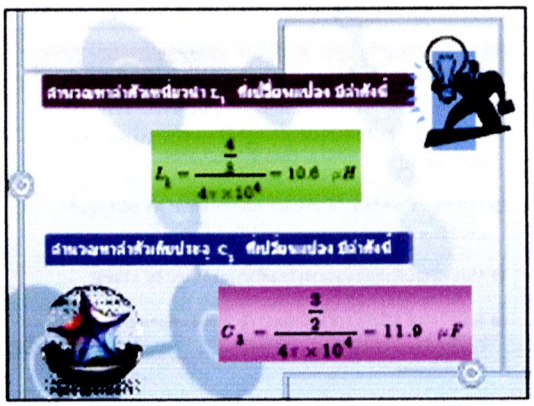
$$\omega_s \omega_{old} C_{new} = \omega_{old} C_{old} \Rightarrow C_{new} = \frac{C_{old}}{\omega_s}$$

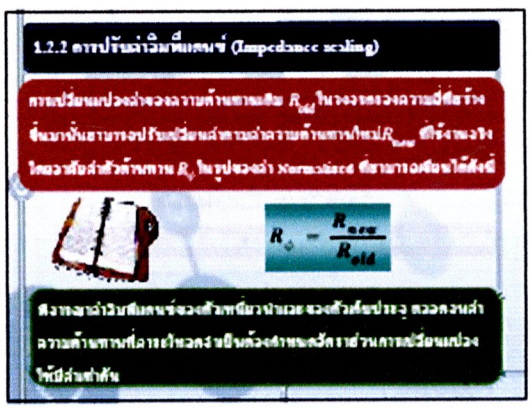
ตัวอย่าง จากวงจรวงจรกรองความถี่ดังรูปที่ 1.11 ถ้าหากความถี่ใช้งานที่ 20 kHz เมื่อ $\omega = 1\ rad/s$



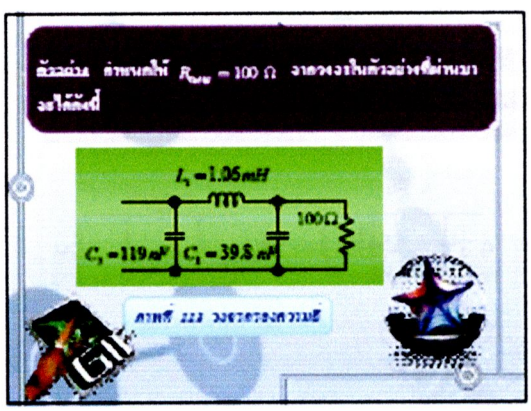
รูปที่ 1.12 วงจรกรองความถี่

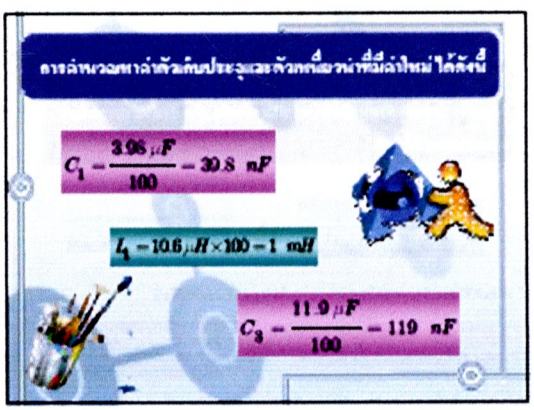

จากความสัมพันธ์ในข้างต้น จะได้ค่าความถี่เชิงมุมของไซน์ ω_0 คือ
$\omega_0 = \frac{2\pi \times 2 \times 10^6}{3} = 4\pi \times 10^4$ rad / s
ดังนั้นหาค่าตัวเก็บประจุ C_1 ที่ปรับแปลง มีค่าคือ
$C_1 = \frac{\frac{1}{2}}{4\pi \times 10^4} = 3.98$ μF


ดังนั้นหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L_1 ที่ปรับแปลง มีค่าคือ
$L_1 = \frac{\frac{4}{3}}{4\pi \times 10^4} = 10.6$ μH
ดังนั้นหาค่าตัวเก็บประจุ C_2 ที่ปรับแปลง มีค่าคือ
$C_2 = \frac{\frac{3}{2}}{4\pi \times 10^4} = 11.9$ μF


1.2.2 การปรับค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance scaling)
การเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานเสีย R_{old} ในวงจรของความถี่ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานใหม่ R_{new} ที่ต้องการได้ โดยอาศัยค่าตัวต้านทาน R_0 ในรูปของค่า Normalized ที่สามารถคำนวณได้ดังนี้
$R_0 = \frac{R_{new}}{R_{old}}$
ดังนั้นหาค่าอินดักแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและของตัวเก็บประจุ ของวงจรค่าความต้านทานที่ต้องการให้ของวงจรนั้นคงที่ และสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงให้มีค่าเท่ากัน

เพื่อลดขนาดการทำงานของวงจรกรองความถี่ให้คงที่เท่ากันทั้งนั้นสามารถคำนวณค่าตัวเก็บประจุได้ดังนี้
$L_{new} = \frac{L_{old} R_0}{\omega_0}$
และ $C_{new} = \frac{C_{old}}{R_0 \omega_0}$
และ $R_{new} = R_{old} R_0$


ตัวอย่าง กำหนดให้ $R_{new} = 100\ \Omega$ จากวงจรในตัวอย่างที่ผ่านมาจะได้ดังนี้
$L_1 = 1.06 mH$
$100\ \Omega$
$C_1 = 119 nF$
$C_2 = 39.8 nF$


ดังนั้นหาค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าใหม่ได้ดังนี้
$C_1 = \frac{3.98\ \mu F}{100} = 39.8$ nF
$L_1 = 10.6\ \mu H \times 100 = 1$ mH
$C_2 = \frac{11.9\ \mu F}{100} = 119$ nF

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

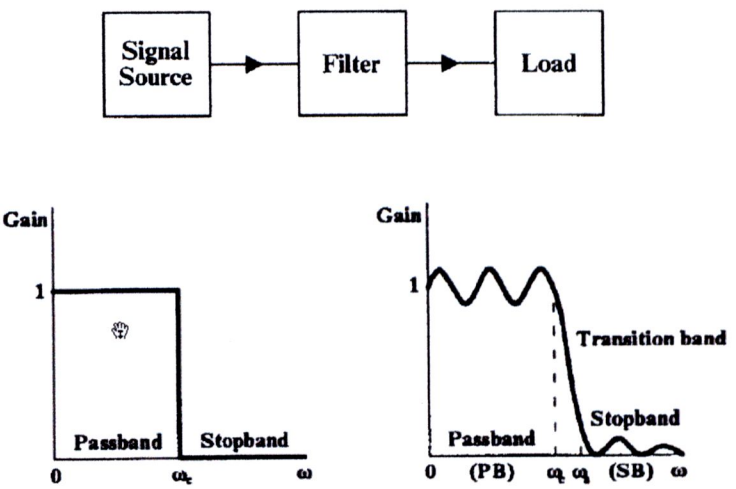
ใบเนื้อหา

หน่วยการเรียนที่ 1

วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

Passive Filter Circuit

ปรกติโดยทั่วไปงานทางด้านวิศวกรรม สัญญาณที่ใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีค่าความถี่ใดๆ ตัวอย่างเช่น ระบบวิทยุ FM ความถี่กลางที่ใช้จะมีค่าประมาณ 10.7 MHz ดังนั้นความถี่อื่นๆ จะต้องถูกตัดทิ้งไป ซึ่งในการออกแบบระบบข่ายงานสองขั้วที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้จะเรียกว่า ข่ายงานวงจรกรองความถี่สัญญาณไฟฟ้า (Electric filter network) ที่มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด โดยมีระบบการทำงานและตัวอย่างการตอบสนองสัญญาณดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 วงจรกรองความถี่และการตอบสนองทางความถี่

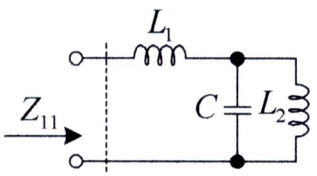
1.1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

วิธีการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่างๆ มีแนวทางดังนี้

1. สร้างวงจรกรองความถี่ต้นแบบที่มีความสัมพันธ์กับสมการของอิมพีแดนซ์ $Z_{21}(s) = \frac{V_2}{I_1}$ หรือสมการแอดมิตแตนซ์ $Y_{21}(s) = \frac{I_2}{V_1}$ ซึ่งจะมุ่งเน้นออกแบบเฉพาะวงจรกรองความถี่ต่ำเท่านั้น ซึ่งจะใช้เป็นวงจรต้นแบบในการออกแบบวงจรกรองความถี่ชนิดอื่นๆ ต่อไป

2. วงจรกรองความถี่ต่ำ จะสร้างโดยอาศัยข่ายงานของวงจร L-Series โดยคุณสมบัติของ L จะปิดวงจรสำหรับความถี่ต่ำ และวงจร C-parallel โดยคุณสมบัติของ C จะปิดวงจรสำหรับความถี่สูง และมีความต้านทาน 1 โอห์มต่อเป็นภาระที่ทางออก ซึ่งสมการการโอนย้ายที่ได้โดยมีข้อกำหนดไว้ว่าค่าของกำลังงานระหว่างตัวตั้ง (Numerator) กับตัวหาร (Denominator) จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1

ตัวอย่าง กำหนดวงจรดังภาพที่ 1.2 หาค่าอิมพีแดนซ์ทางอินพุท เมื่อค่าของ $s \to \infty$ และ



$s \to 0$

ภาพที่ 1.2 วงจรตัวอย่างการคำนวณ

สมการอิมพีแดนซ์ทางเข้าของข่ายงานสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Z_{11}(s) = L_1 s + \frac{\frac{1}{Cs} L_2 s}{\frac{1}{Cs} + L_2 s}$$

$$Z_{11}(s) = \frac{L_1 L_2 C s^3 + (L_1 + L_2)s}{L_2 C s^2 + 1}$$

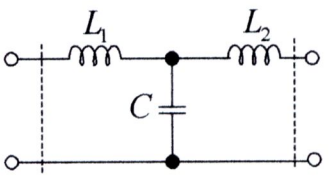
เมื่อกำหนดขอบเขตให้ค่าของ $s \to \infty$ และ $s \to 0$ จะได้ดังนี้

$$\lim_{s \to \infty} Z_{11}(s) = \lim_{s \to \infty} L_1 s = \infty$$
$$\lim_{x \to 0} Z_{11}(s) = 0$$

จากผลที่ได้จะเห็นว่า ที่สัญญาณเป็นความถี่ต่ำหรือเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่ปิดวงจรต่อสัญญาณลงดิน และตัวเก็บประจุเสมือนเป็นวงจรเปิด

โดยทั่วไปคุณสมบัติของพารามิเตอร์ Z และ Y สำหรับข่ายงานทางไฟฟ้า สามารถแสดงสมการการโอนย้ายในรูปของโพลิโนเมี่ยล (Polynomial) ได้ โดยสมการโพลิโนเมี่ยลจะ

ประกอบด้วยกำลังงานคู่ (Even power) และ/หรือกำลังงานคี่ (Odd power) ของตัวประกอบ s นั่นเอง



ภาพที่ 1.3 ข่ายงานของวงจร LC

จากภาพที่ 1.3 สามารถหาค่าของความสัมพันธ์ในรูปพารามิเตอร์ ABCD ได้ดังนี้

$$[ABCD] = \begin{bmatrix} LCs^2+1 & Ls(LCs^2+2) \\ Cs & LCs^2+1 \end{bmatrix}$$

จากความสัมพันธ์ $Z_{11}(s) = \frac{A}{C}$ จะได้พารามิเตอร์อิมพีแดนซ์ ดังนี้

$$Z_{11}(s) = \frac{LCs^2+1}{Cs}$$

$$Z_{12}(s) = \frac{\Delta}{C} = \frac{1}{Cs}$$

และจากความสัมพันธ์ $Y_{11}(s) = \frac{D}{B}$ จะได้พารามิเตอร์แอดมิตแตนซ์ ดังนี้

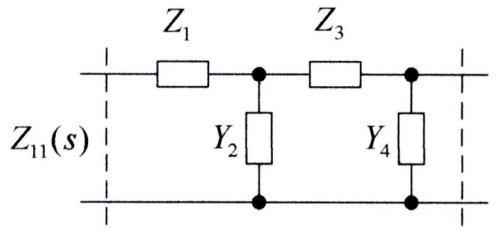
$$Y_{11}(s) = \frac{LCs^2+1}{L^2Cs^3+2Ls}$$

$$Y_{12}(s) = \frac{-\Delta}{B} = \frac{1}{L^2Cs^3+2Ls}$$

จะเห็นว่ามีค่าสมการการโอนย้ายที่ได้อาจเขียนสมการกำลังงานอยู่ในรูปของอัตราส่วน $\frac{ODD}{EVEN}$ หรือ $\frac{EVEN}{ODD}$ ก็ได้ อย่างไรก็ตามกำลังงานสูงสุดและต่ำสุดของตัวประกอบของ s จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 ซึ่งอัตราส่วนของกำลังงานในข่ายงานบางส่วนอาจไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นเสมอไปก็ได้

สำหรับการคำนวณหาค่าของข่ายงานสองขั้วของวงจร LC สามารถพิจารณาได้จากสมการของ $Z_{11}(s)$ และ $Y_{11}(s)$ โดยจะใช้วิธีการคำนวณที่เรียกว่า "Cauer's Continued Fraction Expansion" ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการอิมพีแดนซ์ได้ดังภาพที่ 1.4

$$Z_{11}(s) = Z_1 + \cfrac{1}{Y_2 + \cfrac{1}{Z_3 + \cfrac{1}{Y_4 + \ldots}}}$$
$$\ldots$$
$$etc.$$

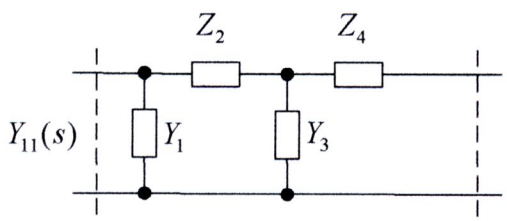


ภาพที่ 1.4 วงจร LC Ladder แบบอิมพีแดนซ์

การหาค่าต่างๆ ของสมการอิมพีแดนซ์ทางเข้าของข่ายงานดังสมการข้างบน จะได้ค่าของอุปกรณ์แต่ละตัวดังนี้ $Z_1, Y_2, Z_3 \ldots$.

ในทำนองเดียวกัน สามารถจะหาค่าเหล่านี้ได้จากพารามิเตอร์ $Y_{11}(s)$ ซึ่งจากการหาค่าในสมการในรูปแอดมิตแตนซ์ทางเข้า จะได้ค่าของอุปกรณ์แต่ละตัวดังนี้ $Y_1, Z_2, Y_3 \ldots$. ดังภาพที่ 1.5

$$Y_{11}(s) = Y_1 + \cfrac{1}{Z_2 + \cfrac{1}{Y_3 + \cfrac{1}{Z_4 + \ldots}}}$$
$$\ldots$$
$$etc.$$



ภาพที่ 1.5 วงจร LC Ladder แบบแอดมิตแตนซ์

การวิเคราะห์ค่าของอุปกรณ์จากสมการการโอนย้ายของข่ายงานด้วยวิธีของ Cauer สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการหารอย่างต่อเนื่องโดยเศษที่ได้จากการหารในแต่ละครั้งจะนำมาใช้เป็นตัวหาร และตัวหารก่อนหน้านั้นจะใช้เป็นตัวตั้ง การคำนวณจะสิ้นสุดเมื่อเศษที่ได้จากการหารมีค่าเท่ากับศูนย์

ตัวอย่าง จงสังเคราะห์วงจรข่ายงานสองขั้ว กำหนดให้ L=2 H และ C=3 F ของสมการดังนี้

$$Z_{11}(s) = \frac{6s^2+1}{3s} = \frac{LCs^2+1}{Cs}$$

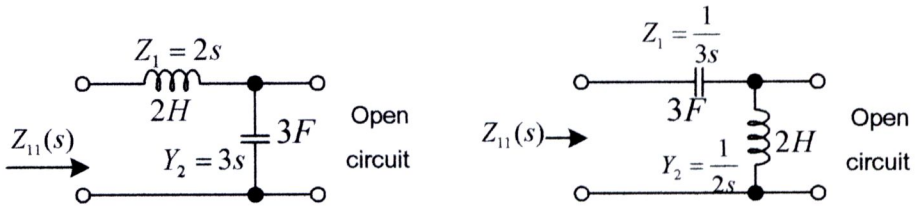
วิเคราะห์สมการการโอนย้ายโดยวิธีการหารอย่างต่อเนื่องของ Cauer ดังนี้

$$\begin{array}{r} 2s \\ 3s\overline{)\,6s^2+1} \\ \underline{6s^2} \\ \end{array} \qquad \begin{array}{r} 3s \\ 1\overline{)\,3s} \\ \underline{3s} \\ 0 \end{array}$$

หรือ

$$\begin{array}{r} \frac{1}{3s} \\ 3s\overline{)\,1+6s^2} \\ \underline{1} \\ \end{array} \qquad \begin{array}{r} \frac{1}{2s} \\ 6s^2\overline{)\,3s} \\ \underline{3s} \\ 0 \end{array}$$

จะเห็นว่าสามารถตั้งสมการในการหารและหาคำตอบได้ 2 แนวทาง ซึ่งคำตอบที่ได้จากการหารแต่ละครั้งจะได้เป็นค่าของอุปกรณ์ Z_1, Y_2 โดยสามารถเขียนวงจรได้ดังภาพที่ 1.6 ที่มีโครงสร้างของตำแหน่ง L และ C ที่แตกต่างกัน แต่เป็นค่าของคำตอบที่ถูกต้องเนื่องจากมีค่าของอิมพีแดนซ์ทางเข้าที่เหมือนกัน



ภาพที่ 1.6 วงจรข่ายงาน LC แบบสองขั้ว

พิจารณาตัวอย่างข้างต้น พบว่าสมการการโอนย้ายของ $Z_{11}(s)$ จะมีซีโร่ที่ตำแหน่ง $s = \pm j\frac{1}{\sqrt{6}}$ และโพลที่ตำแหน่ง $s = 0$ จากวงจรที่ได้ สามารถแสดงความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$Z_{11}(s) = \lim_{s\to\infty} \frac{6s^2+1}{3s} = 2s$$

$$Z_{11}(s) = \lim_{s\to 0} \frac{6s^2+1}{3s} = \infty$$

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ เมื่อพิจารณาสมการอิมพีแดนซ์ทางเข้า จะพบว่าอุปกรณ์ตัวแรกนี้จะใช้ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมในวงจร แต่ถ้าพิจารณาสมการของแอดมิตแตนซ์ทางเข้า จะพบว่าอุปกรณ์ตัวแรกเป็นตัวเก็บประจุต่อขนานในวงจร

ตัวอย่าง จงออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ จากสมการของ $Z_{22}(s)$ ดังนี้

$$Z_{22}(s) = \frac{2s^2+1}{s^3+2s}$$

จากสมการถ้า $\lim_{s\to\infty} Z_{22}(s) = \lim_{s\to\infty} \frac{1}{s} = 0$ จะได้ว่า สมการ $Z_{22}(s)$ มีซีโรที่ตำแหน่ง $s = \infty$ และไม่มีโพล $s = 0$ ในการหาค่าอุปกรณ์ L และ C สามารถหาได้โดยใช้วิธีการของ Cauer ดังนี้

$$\begin{array}{r} \frac{2}{s} \\ s^3+2s\overline{)\,2s^2+1} \\ \underline{2s^2+4} \\ -\frac{s^3}{3} \\ -3\overline{)\,s^3+2s} \\ \cdots\cdots\cdots \end{array}$$

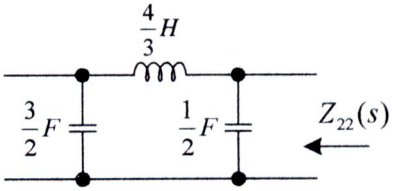
จากค่าผลลัพธ์ที่ได้พบว่า $-\frac{s^3}{3}$ ไม่ใช่อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเพื่อหาค่าที่ถูกต้องให้ทำการอินเวอร์สสมการเพื่อเขียนสมการใหม่ในรูปของแอดมิตแตนซ์ (โพลที่ตำแหน่ง $s = \infty$) จะได้ดังนี้

$$
\begin{array}{r}
\frac{s}{2} \\
2s^2+1\overline{)\,s^3+2s} \\
\underline{s^3+\frac{s}{2}} \\
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{r}
\frac{4}{3}s \\
\frac{3}{2}s\overline{)\,2s^2+1} \\
\underline{2s^2} \\
\end{array}
$$

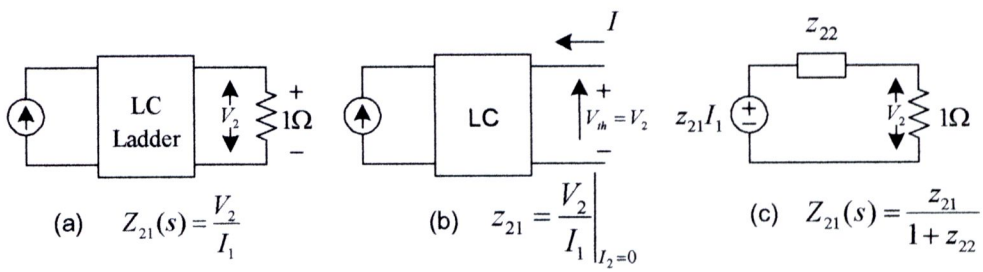
$$
\begin{array}{r}
\frac{3}{2}s \\
1\overline{)\,\frac{3}{2}s} \\
\underline{\frac{3}{2}s} \\
0
\end{array}
$$

จากผลของคำอบที่ได้จากการหารแต่ละครั้งจะได้อุปกรณ์ดังนี้ Y_1, Z_2, Y_3 วงจรที่ได้เป็นดังนี้



ภาพที่ 1.7 วงจรข่ายงาน LC แบบสองขั้ว

การออกแบบวงจรที่กล่าวมาแล้ว เป็นวิธีการใช้ค่าของ $Z_{11}(s)$ หรือ $Y_{11}(s)$ ซึ่งโดยปรกติสามารถออกแบบโดยใช้ความสัมพันธ์ ของ $Z_{21}(s)=\frac{V_2}{I_1}$ ของวงจรข่ายงานสองขั้วในการออกแบบก็ได้ ในวิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยวงจรเทียบเคียงของเทวินิน และกำหนดให้มีโหลดความต้านทานขนาด 1 โอห์มต่อที่ทางออกของวงจรโดยมีแนวทางตามภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 วงจรเทียบเคียงของเทวินิน

จากภาพที่ 1.8 (a) สามารถเขียนความสัมพันธ์ของสมการอิมพีแดนซ์ ได้ดังนี้

$$Z_{21}(s) = \frac{V_2}{I_1}$$

พิจารณาหลักการในวงจรเทียบเคียงสำหรับเทวินินจะได้ดังนี้

$$z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0}$$
$$V_{th} = V_2\big|_{I_2=0} = z_{21}I_1$$

อิมพีแดนซ์ทางออกของทฤษฎีเทวินิน หาได้จากนิยามดังนี้

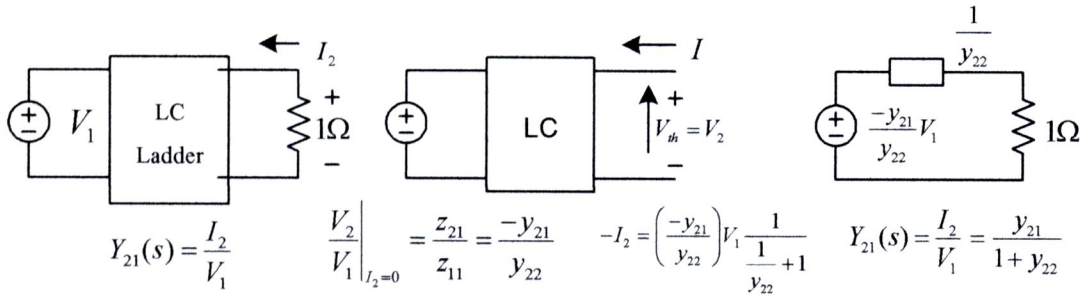
$$Z_{th} = z_{22} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1=0}$$

จากวงจรเทียบเคียงภาพที่ 1.7 (c) อาศัยการแบ่งแรงดัน จะได้ดังนี้

$$V_2 = z_{21}I_1\frac{1}{1+z_{22}}$$

$$Z_{21}(s) = \frac{V_2}{I_1} = \frac{z_{21}}{1+z_{22}}$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับวงจรที่มีแหล่งจ่ายเป็นแรงดันสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสมการแอดมิตแตนซ์ ดังภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.9 วงจรเทียบเคียงของเทวินิน

จากภาพที่ 1.9 ความสัมพันธ์ของสมการแอดมิตแตนซ์ มีดังนี้

$$Y_{21}(s) = \frac{I_2}{V_1}$$

วงจรเทียบเคียงสำหรับทฤษฎีเทวินิน จะได้ดังนี้

$$\left.\frac{V_2}{V_1}\right|_{I_2=0} = \frac{z_{21}}{z_{11}} = \frac{-y_{21}}{y_{22}}$$

$$V_2 = \frac{-y_{21}}{y_{22}} \times V_1$$

อิมพีแดนซ์ทางออกของทฤษฎีเทวินิน หาได้จากนิยามดังนี้

$$Z_{th} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1=0} = \frac{1}{Y_{22}}$$

$$I_2 = \left(\frac{y_{21}}{y_{22}}\right) V_1 \frac{1}{\frac{1}{y_{22}} + 1}$$

ดังนั้น สมการความสัมพันธ์ของแอดมิตแตนซ์ของข่ายงาน มีดังนี้

$$Y_{21}(s) = \frac{I_2}{V_1} = \frac{y_{21}}{1 + y_{22}}$$

ตัวอย่าง จงวิเคราะห์วงจรข่ายงานของวงจรกรองความถี่ โดยกำหนดให้

$$Z_{21}(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$$

จากสมการข้างต้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังนี้

$$Z_{21}(s) = \frac{z_{21}}{1 + z_{22}}$$

เขียนในรูปแบบใหม่ จะได้ดังนี้

$$Z_{21}(s) = \frac{\dfrac{1}{s^3+2s}}{1+\dfrac{2s^2+1}{s^3+2s}}$$

ดังนั้น จะได้ดังนี้

$$z_{22} = \frac{2s^2+1}{s^3+2s} \quad \text{และ} \quad z_{21} = \frac{1}{s^3+2s}$$

จากสมการของ $z_{22} = \dfrac{2s^2+1}{s^3+2s}$ จะเห็นว่าไม่สามารถคำนวณหาค่าของวงจร LC Ladder ได้ เนื่องจากตัวตั้งน้อยกว่าตัวหาร ดังนั้นต้องหาสมการส่วนกลับในเทอมของสมการแอดมิตแตนซ์ ดังนี้

$$y_{22} = z\frac{1}{y_{22}} = \frac{s^3+2s}{2s^2+1}$$

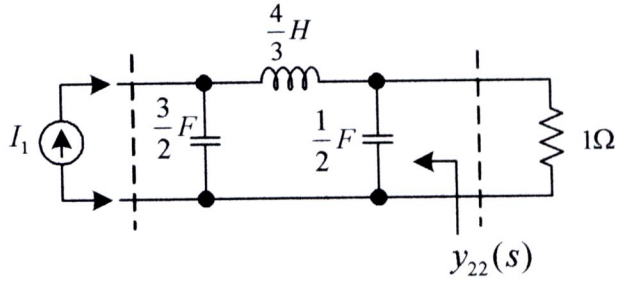
จากนั้นทำการหารแบบต่อเนื่องโดยวิธีของ Cauer ดังต่อไปนี้

$$\begin{array}{r}
\frac{1}{2}s \\
2s^2+1\overline{)\,s^3+2s} \\
\underline{s^3+\frac{1}{2}s} \\
\frac{3}{2}s \\
\end{array}$$

$$\begin{array}{r}
\frac{4}{3}s \\
\frac{3}{2}s\ \overline{)\,2s^2+1} \\
\underline{2s^2} \\
1 \\
\end{array}$$

$$\begin{array}{r}
\frac{3}{2}s \\
1\ \overline{)\,\frac{3}{2}s} \\
\underline{\frac{3}{2}s} \\
0 \\
\end{array}$$

ถ้าพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการหารสามารถแสดงค่าอุปกรณ์ดังนี้ Y_1, Z_2, Y_3 โดยวงจรที่ได้สามารถเขียนเป็นวงจรแบบแอดมิตแตนซ์ ได้ดังนี้



ภาพที่ 1.10 วงจรกรองความถี่

การพิสูจน์หาค่าความสัมพันธ์ของสมการ $z_{21} = \left.\dfrac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0}$ เป็นดังนี้

$$V_2 = \frac{\dfrac{\dfrac{1}{3}}{\dfrac{2}{s}} I_1}{\dfrac{1}{\dfrac{3}{2}s} + \dfrac{4}{3}s + \dfrac{1}{\dfrac{1}{2}s}} \cdot \frac{1}{\dfrac{1}{2}s} = \frac{I_1}{s^3 + 2s}$$

$$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{1}{s^3 + 2s}$$

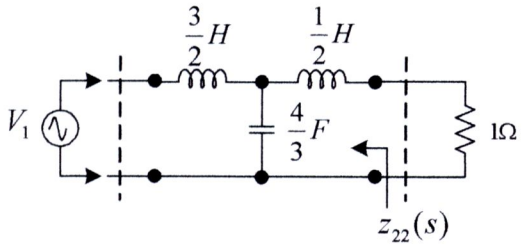
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมการของ $Z_{21}(s)$ สามารถจัดรูปแบบของสมการใหม่ ได้ดังนี้

$$Z_{21}(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$$

ดังนั้น

$$Z_{21}(s) = \frac{z_{21}}{1 + z_{22}} = \frac{\dfrac{1}{2s^2 + 1}}{1 + \dfrac{s^3 + 2s}{2s^2 + 1}}$$

และทำการคำนวณโดยวิธีการหารแบบต่อเนื่องของ Cauer ดังแนวทางที่ผ่านมา จะพบว่าวงจรที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นวงจรอิมพีแดนซ์ ที่สามารถเขียนได้ดังนี้



ภาพที่ 1.11 วงจรกรองความถี่

การพิสูจน์หาค่าความสัมพันธ์ของสมการ $z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0}$ เป็นดังนี้

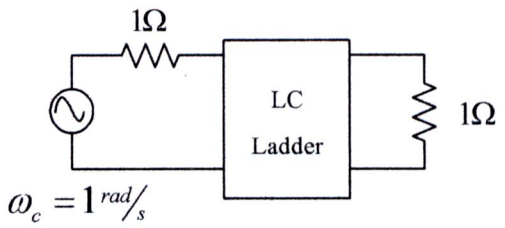
$$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{3}{4s}$$

จากผลที่ได้แสดงว่าระบบข่ายงานที่ได้ไม่สอดคล้องกับสมการ $Z_{21}(s)$ ที่กำหนดให้ ดังนั้นถือได้ว่าวงจรที่คำนวณได้ไม่ถูกต้องไม่สามารถใช้งานได้

ดังนั้น จะเห็นว่าในการออกแบบวงจร LC Ladder นั้นไม่สามารถกำหนดรูปแบบของวงจรที่เป็นสมการแอดมิตแตนซ์หรือสมการอิมพีแดนซ์ได้ตามต้องการของผู้ใช้ได้เสมอไป แต่อาจมีสมการการโอนย้ายบางสมการที่สามารถออกแบบได้ทั้งสมการแอดมิตแตนซ์หรือสมการอิมพีแดนซ์ ซึ่งจะทำให้การเลือกใช้ค่าอุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุสอดคล้องกับที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด สรุปได้ว่าแนวคิดในการออกแบบวงจรกรองความถี่แบบ LC Ladder นั้นสามารถออกแบบโดยใช้วิธีการทางเทคนิคต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วและในหน่วยต่อไปจะกล่าวถึงการออกแบบวงจรกรองความถี่ที่ใช้วิธีการประมาณค่าของบัตเตอร์เวอร์ท (Butterworth) และวิธีการประมาณค่าของเชฟบี้เช็ป (Chebyshev)

1.2 การปรับค่าความถี่และอิมพีแดนซ์

โดยทั่วไปการออกแบบวงจรกรองความถี่ จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เพื่อควบคุมให้สัญญาณสามารถส่งผ่านหรือถูกกำจัดทิ้งไป ซึ่งการออกแบบในหลักการข้างต้นจะกำหนดให้ใช้ที่ย่านความถี่เชิงมุมตัดผ่านมีค่าเท่ากับ 1 radian/s ($\omega = 1\,^{rad}/_{s}$) และกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของภาระโหลดในวงจรมีค่าเท่ากับ 1 โอห์ม ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องปรับย่านความถี่และค่าอิมพีแดนซ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 1.12 วงจรพื้นฐานของวงจรกรองความถี่

1.2.1 การปรับย่านความถี่ใช้งาน (Frequency scaling)

การออกแบบใช้งานที่ย่านความถี่ใดๆ สามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เดิมและความถี่ใหม่ที่ต้องการใช้ เมื่อ กำหนดให้ ω_{old} หมายถึงความถี่ในวงจรเดิมที่ถูกออกแบบไว้และ ω_{new} หมายถึงความถี่ที่ต้องการใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ทั้งสองค่า จะเรียกว่าความถี่ของการนอมอลไลท์, ω_ϕ เป็นดังนี้

$$\omega_\phi = \frac{\omega_{new}}{\omega_{old}}$$

ดังนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ความถี่เดิมและความถี่ใหม่จะต้องกำหนดให้มีค่าเท่าเดิม ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\omega_{new} L_{new} = \omega_{old} L_{old}$$

แทนค่าความถี่นอมอลไลท์, ω_ϕ ลงในสมการ จะเป็นดังนี้

$$\omega_\phi \omega_{old} L_{new} = \omega_{old} L_{old}$$

$$L_{new} = \frac{L_{old}}{\omega_\phi}$$

ในทำนองเดียวกัน สมการของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ความถี่เดิมและความถี่ใหม่จะต้องกำหนดให้มีค่าเท่าเดิม เช่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\frac{1}{\omega_{new} C_{new}} = \frac{1}{\omega_{old} C_{old}}$$

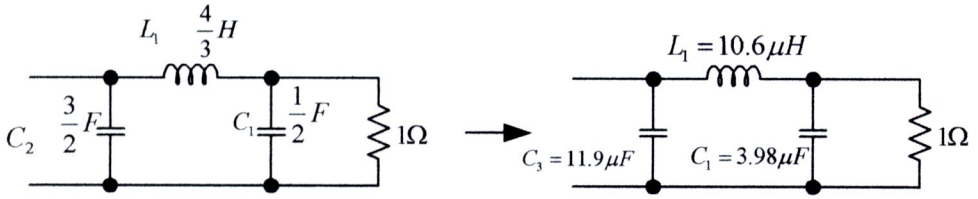
$$\omega_{new} C_{new} = \omega_{old} C_{old}$$

แทนค่าความถี่นอมอลไลท์, ω_ϕ ลงในสมการ จะเป็นดังนี้

$$\omega_\phi \omega_{old} C_{new} = \omega_{old} C_{old}$$

$$C_{new} = \frac{C_{old}}{\omega_\phi}$$

ตัวอย่าง จากวงจรวงจรกรองความถี่ดังภาพที่ 1.11 กำหนดความถี่ใช้งานที่ 20 kHz เมื่อ $\omega = 1 \ \ rad/s$



ภาพที่ 1.13 วงจรกรองความถี่

จากความสัมพันธ์ในข้างต้น จะได้ค่าความถี่นอมอลไลท์, ω_ϕ ดังนี้

$$\omega_\phi = \frac{2\pi \times 2 \times 10^4}{1} = 4\pi \times 10^4 \ \ rad/s$$

คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ C_1 ที่เปลี่ยนแปลง มีค่าดังนี้

$$C_1 = \frac{\frac{1}{2}}{4\pi \times 10^4} = 3.98 \ \ \mu F$$

คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L_1 ที่เปลี่ยนแปลง มีค่าดังนี้

$$L_1 = \frac{\frac{4}{3}}{4\pi \times 10^4} = 10.6 \ \ \mu H$$

คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ C_2 ที่เปลี่ยนแปลง มีค่าดังนี้

$$C_3 = \frac{\frac{3}{2}}{4\pi \times 10^4} = 11.9 \ \ \mu F$$

1.2.2 การปรับค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance scaling)

การเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานเดิม R_{old} ในวงจรกรองความถี่ที่สร้างขึ้นมานั้น สามารถปรับเปลี่ยนค่า ตามค่าความต้านทานใหม่ R_{new} ที่ใช้งานจริง โดยอาศัยค่าตัวต้านทาน R_ϕ ในรูปของค่า Normalized ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$R_\phi = \frac{R_{new}}{R_{old}}$$

พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและของตัวเก็บประจุ ตลอดจนค่าความต้านทานที่ภาระโหลดจำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงให้มีค่าเท่ากัน เพื่อคงสถานะการทำงานของวงจรกรองความถี่ให้คงที่เหมือนเดิม ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

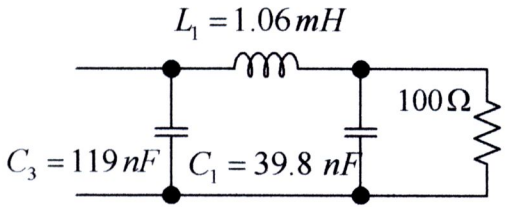
$$L_{new} = \frac{L_{old} R_\phi}{\omega_\phi}$$

และ

$$C_{new} = \frac{C_{old}}{R_\phi \omega_\phi}$$

และ $$R_{new} = R_{old} R_{\phi}$$

ตัวอย่าง กำหนดให้ $R_{new} = 100\ \Omega$ จากวงจรในตัวอย่างที่ผ่านมา จะได้ดังนี้



ภาพที่ 1.14 วงจรกรองความถี่

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าใหม่ ได้ดังนี้

$$C_1 = \frac{3.98\,\mu F}{100} = 39.8\ \ nF$$

$$L_1 = 10.6\,\mu H \times 100 = 1\ \ mH$$

$$C_3 = \frac{11.9\,\mu F}{100} = 119\ \ nF$$

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ Passive Filter Circuit
เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

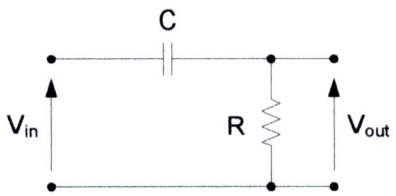
<u>คำชี้แจง</u> : 1. แบบทดสอบมีทั้งหมด 12 ข้อ

2. จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียวโดยทำเครื่องหมาย ✕ ลงในกระดาษคำตอบ

1. ข้อดีของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ คือข้อใด

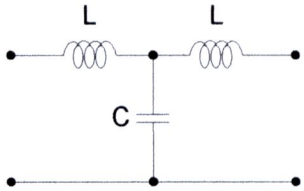
ก. กำหนดอัตราการขยายได้ง่าย
ข. ไม่มีปัญหาเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง
ค. ออกแบบวงจรง่าย
ง. เลือกซื้อค่าของอุปกรณ์ได้สะดวก

2. จากภาพ เมื่อใช้งานที่ความถี่สูง ๆ ผลการตอบสนองที่เกิดขึ้นมีลักษณะโดยประมาณตามข้อใด



ก. แรงดันที่ทางออกเป็นศูนย์
ข. อิมพีแดนซ์ที่ทางออกมีค่าน้อยมาก
ค. กระแสที่ทางออกมีค่าเป็นศูนย์
ง. แรงดันที่ทางออกมีค่าเท่ากันกับที่ทางเข้า

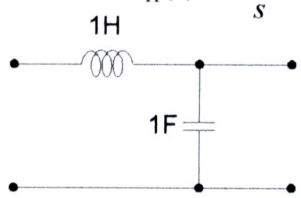
3. จากวงจรข่ายงานดังภาพ สามารถเขียนสมการของอิมพีแดนซ์ $Z_{11}(s)$ ได้ตามข้อใด



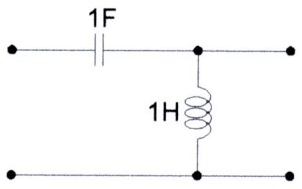
ก. $Z_{11}(s)=\dfrac{Cs}{LCs^2+1}$
ข. $Z_{11}(s)=\dfrac{LCs^2+1}{Cs}$
ค. $Z_{11}(s)=\dfrac{Ls^2+1}{Cs}$
ง. $Z_{11}(s)=\dfrac{LCs+1}{Cs}$

4. จากสมการของ $Z_{11}(s)=\frac{s^2+1}{s}$ มีลักษณะของวงจรข่ายงานตามข้อใด

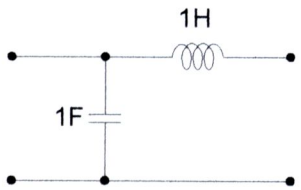
ก.



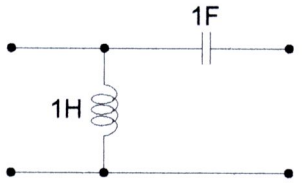
ข.



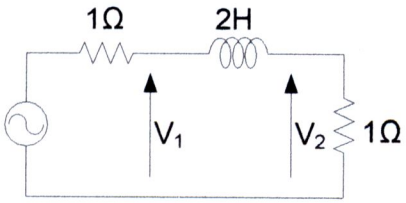
ค.



ง.



5. จากวงจรที่กำหนด สมการของ $Y_{21}(s)$ มีค่าตามข้อใด



ก. $Y_{21}(s)=1+2s$

ข. $Y_{21}(s)=\frac{1}{1+2s}$

ค. $Y_{21}(s)=\frac{s}{1+2s}$

ง. $Y_{21}(s)=\frac{1+2s}{s}$

6. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับจุดมุ่งหมายของการปรับค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่

ก. ออกแบบให้วงจรแมทชิ่ง

ข. ลดจำนวนอุปกรณ์ของวงจร

ค. ลดขนาดของวงจร

ง. สร้างวงจรเพื่อใช้งานจริง

7. ข้อใดคือสมการปรับเปลี่ยนค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่ถูกต้อง

ก. $L=\frac{L_P}{\omega_\phi R_\phi}$

ข. $L=\frac{L_P}{\omega_\phi}R_\phi$

ค. $L=\frac{L_P}{R_\phi}\omega_\phi$

ง. $L=L_P\omega_\phi R_\phi$

8. ข้อใดคือสมการปรับเปลี่ยนค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ถูกต้อง

ก. $C = \frac{C_P}{\omega_\phi R_\phi}$

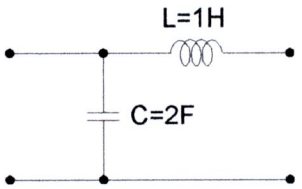
ข. $C = \frac{C_P}{\omega_\phi} R_\phi$

ค. $C = \frac{C_P}{R_\phi} \omega_\phi$

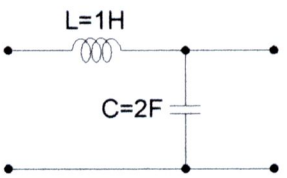
ง. $C = C_P \omega_\phi R_\phi$

9. กำหนดให้วงจรกรองความถี่ต้นแบบมีค่า $Z_{in} = \frac{2s^2 + s + 1}{2s + 1}$ วงจรข่ายงานมีลักษณะตามข้อใด

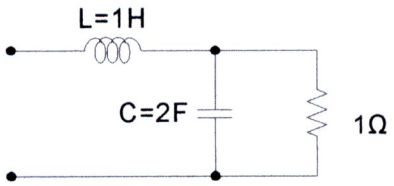
ก.



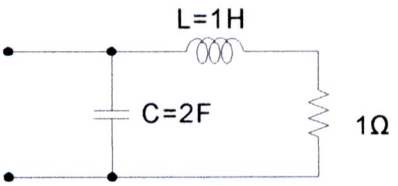
ข.



ค.



ง.



10. จากข้อ 10 ถ้าต้องการใช้งานที่ความถี่ตัดเท่ากับ 1000 rad/s และโหลดมีค่าเท่ากับ $1\,\Omega$ ค่าของอุปกรณ์คือข้อใด

ก. $L = 1mH, C = 2mF$

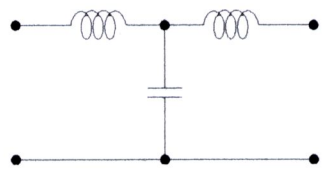
ข. $L = 1\mu H, C = 2mF$

ค. $L = 1mH, C = 1\mu F$

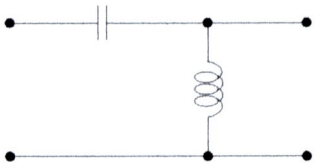
ง. $L = 1\mu H, C = 1\mu F$

11. ข้อใดไม่จัดว่าเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ LC Ladder

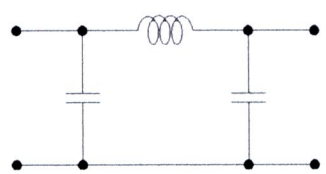
ก.



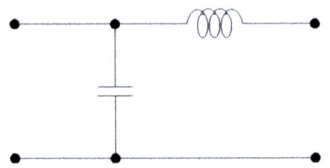
ข.



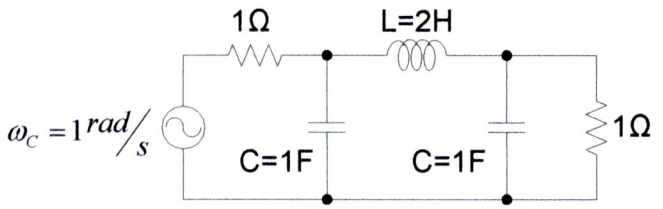
ค.



ง.



12. จากวงจรด้านล่าง เมื่อนำไปใช้งานที่ความถี่ตัดเท่ากับ $\frac{100}{\pi}$ kHz โหลดมีค่าเท่ากับ10Ω ค่าของตัวเก็บประจุจะมีค่าตามข้อใด



ก. $50nF$

ข. $500nF$

ค. $5\mu F$

ง. $50\mu F$

****

เฉลย แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ Passive Filter Circuit

เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ข้อ	ก	ข	ค	ง
1			×	
2				×
3		×		
4	×			
5		×		
6				×
7		×		
8	×			
9			×	
10	×			
11		×		
12		×		

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ Passive Filter Circuit

<u>คำชี้แจง</u> : 1. แบบทดสอบมีทั้งหมด 36 ข้อ

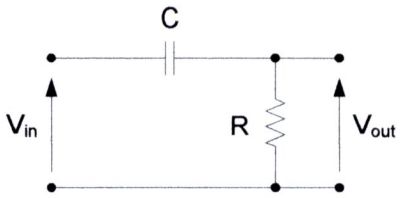
2. จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียวโดยทำเครื่องหมาย ✕ ลงในกระดาษคำตอบ

1. ข้อใดกล่าว**<u>ถูกต้อง</u>**เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

ก. ออกแบบวงจรง่าย ข. กำหนดอัตราการขยายได้ง่าย

ค. มีอัตราการขยายสูง ง. เลือกซื้อค่าของอุปกรณ์ได้สะดวก

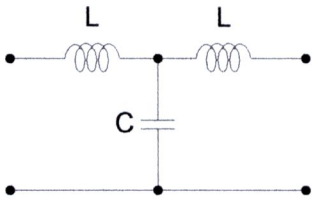
2. จากภาพ เมื่อใช้งานที่ความถี่ต่ำ ๆ ผลการตอบสนองที่เกิดขึ้นมีลักษณะโดยประมาณตามข้อใด



ก. แรงดันที่ทางออกเป็นศูนย์ ข. กระแสที่ทางออกมีค่าเป็นศูนย์

ค. อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้ามีค่าสูง ง. แรงดันที่ทางออกมีค่าเท่ากันกับที่ทางเข้า

3. จากวงจรข่ายงานดังภาพ สามารถเขียนสมการของอิมพีแดนซ์ $Z_{12}(s)$ ได้ตามข้อใด

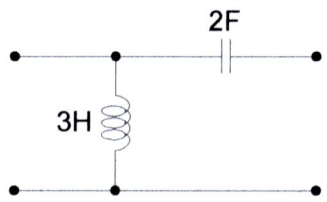


ก. $Z_{12}(s)=\dfrac{1}{LCs^2+1}$ ข. $Z_{12}(s)=\dfrac{1}{Cs}$

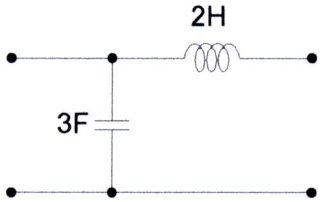
ค. $Z_{12}(s)=\dfrac{Ls^2+1}{Cs}$ ง. $Z_{12}(s)=\dfrac{LCs+1}{Cs}$

4. จากสมการของ $Z_{11}(s)=\dfrac{6s^2+1}{2s}$ มีลักษณะของวงจรข่ายงานตามข้อใด

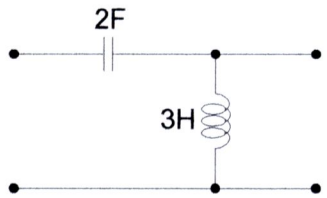
ก.



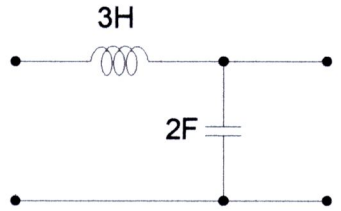
ข.



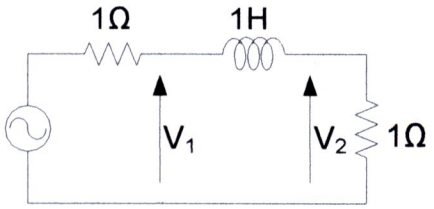
ค.



ง.



5. จากวงจรที่กำหนด สมการของ $Y_{21}(s)$ มีค่าตามข้อใด



ก. $Y_{21}(s)=\dfrac{1}{1+s}$

ข. $Y_{21}(s)=1+s$

ค. $Y_{21}(s)=\dfrac{s}{1+s}$

ง. $Y_{21}(s)=\dfrac{1+s}{s}$

6. ข้อใดกล่าว**ถูกต้อง**เกี่ยวกับการปรับค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่

ก. ลดขนาดของวงจร

ข. สร้างวงจรเพื่อใช้งานจริง

ค. ลดจำนวนอุปกรณ์ของวงจร

ง. ออกแบบให้วงจรแมทชิ่ง

7. ข้อใดคือสมการปรับเปลี่ยนค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่ถูกต้อง

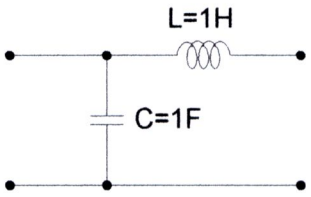
ก. $L=L_P\omega_\phi R_\phi$ ข. $L=\dfrac{L_P}{\omega_\phi R_\phi}$ ค. $L=\dfrac{L_P}{R_\phi}\omega_\phi$ ง. $L=\dfrac{L_P}{\omega_\phi}R_\phi$

8. ข้อใดคือสมการปรับเปลี่ยนค่าทางความถี่ และอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุที่ถูกต้อง

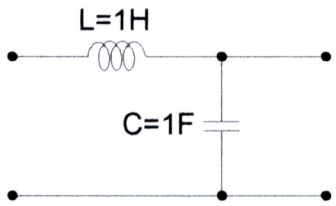
ก. $C=\dfrac{C_P}{\omega_\phi}R_\phi$ ข. $C=\dfrac{C_P}{\omega_\phi R_\phi}$ ค. $C=\dfrac{C_P}{R_\phi}\omega_\phi$ ง. $C=C_P\omega_\phi R_\phi$

9. กำหนดให้วงจรกรองความถี่ต้นแบบมีค่า $Z_{in} = \frac{s^2 + s + 1}{s + 1}$ วงจรข่ายงานมีลักษณะตามข้อใด

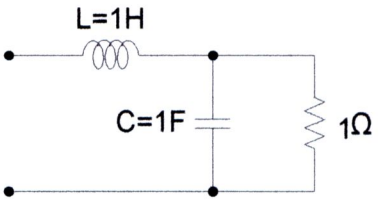
ก.



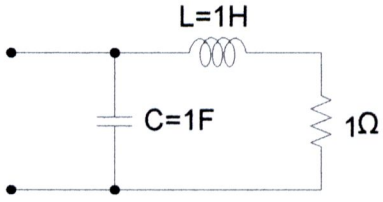
ข.



ค.



ง.



10. จากข้อ 10 ถ้าต้องการใช้งานที่ความถี่ตัดเท่ากับ 1000 rad/s และโหลดมีค่าเท่ากับ $1\,\Omega$ ค่าของอุปกรณ์คือข้อใด

ก. $L = 1mH, C = 1mF$

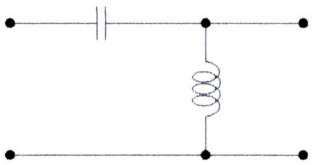
ข. $L = 1\mu H, C = 1mF$

ค. $L = 1mH, C = 1\mu F$

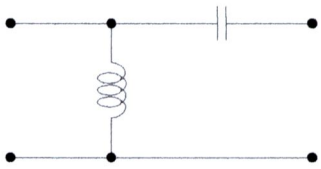
ง. $L = 1\mu H, C = 1\mu F$

11. ข้อใดไม่จัดว่าเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ LC Ladder

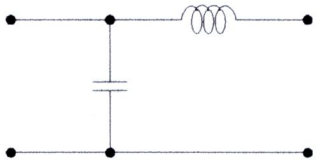
ก.



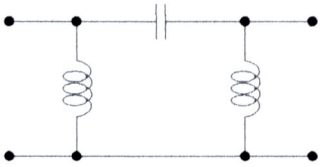
ข.



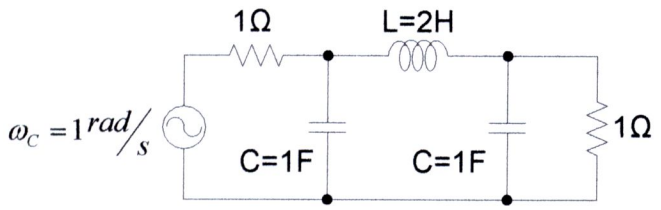
ค.



ง.



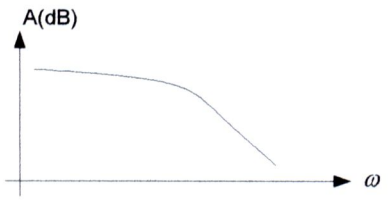
13. จากวงจรด้านล่าง เมื่อนำไปใช้งานที่ความถี่ตัดเท่ากับ $\frac{200}{\pi}$ kHz โหลดมีค่าเท่ากับ10Ω ค่าของตัวเก็บประจุจะมีค่าตามข้อใด

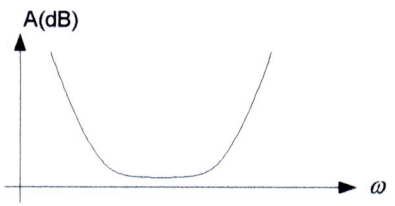


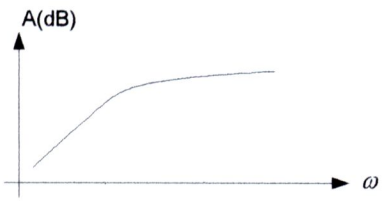
ก. $25\mu F$ ข. $250\mu F$

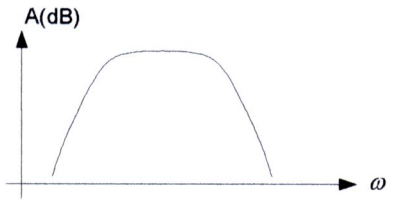
ค. $25nF$ ง. $250nF$

14. ข้อใดแสดงผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

ก.


ข.


ค.


ง.


15. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของวงจรกรองความถี่

ก. เพิ่มอัตราการขยายของวงจร

ข. ช่วยลดการสูญเสียในวงจร

ค. สร้างสัญญาณความถี่ที่ต้องการ

ง. แยกสัญญาณรบกวนออกจากระบบ

16. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการประมาณค่าแบบ Butterworth

ก. ถ้าลำดับ n มีค่ามาก วงจรกรองความถี่จะมีขนาดเล็ก

ข. ถ้าลำดับ n มีค่าน้อย วงจรกรองความถี่จะมีความซับซ้อนมาก

ค. ถ้าลำดับ n มีค่ามาก ความคมชัดในการตัดสัญญาณจะมีมาก

ง. ถ้าลำดับ n มีค่าน้อย ความคมชัดในการตัดสัญญาณจะมีมาก

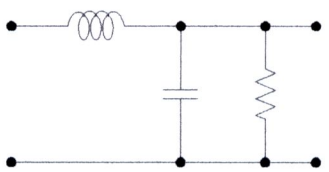
17. วงจรกรองความถี่แบบ Butterworth ที่มีค่า n = 2 อัตราการลดทอนของสัญญาณในช่วงความถี่ ω_C จนถึง $2\omega_C$ มีค่าตามข้อใด

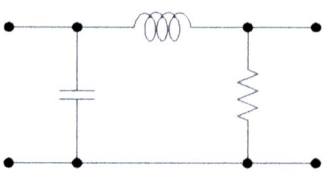
ก. 6 dB ข. 12 dB ค. 20 dB ง. 40 dB

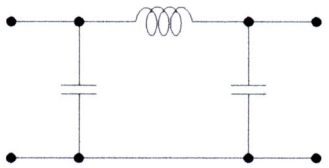
21. กำหนดให้อัตราการลดทอนมีค่า – 50 dB/decade วงจรกรองความถี่ที่ออกแบบควรมีลำดับของค่า n ตามข้อใด

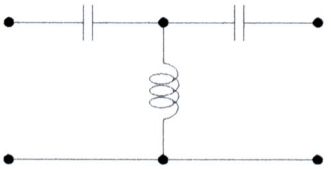
ก. n = 2 ข. n = 3 ค. n = 4 ง. n = 5

18. วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มี ค่า n = 3 มีลักษณะตามข้อใด

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 

19. เพราะเหตุใดจึงเรียกการประมาณค่าแบบ Chebyshev ว่า Equi-ripple

ก. เกิดการกระเพื่อมของสัญญาณในทุกย่านความถี่

ข. เกิดการกระเพื่อมในแถบความถี่ที่ใช้งาน

ค. สัญญาณที่กระเพื่อมมีการสูญเสียจำนวนมาก

ง. วงจรที่ออกแบบส่วนใหญ่ไม่เสถียร

20. ข้อดีของการประมาณค่าแบบ Chebyshev เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ Butterworth คือข้อใด

ก. ออกแบบวงจรได้ง่าย ข. การคำนวณไม่ซับซ้อน

ค. วงจรมีขนาดเล็ก ง. ถูกทุกข้อ

21. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ Butterworth ที่อันดับ n = 2 มีค่า $g_1 = g_2 = 1.414$ ใช้งานที่ความถี่ $\omega_C = 1k$ rad/s ต่อกับโหลดขนาด 50Ω มีค่าอุปกรณ์โดยประมาณตามลำดับข้อใด

ก. $L_S = 140mH$, $C_P = 14\mu F$ ข. $L_S = 14mH$, $C_P = 14\mu F$

ค. $C_P = 140\mu F$, $L_S = 14mH$ ง. $C_P = 140\mu F$, $L_S = 140mH$

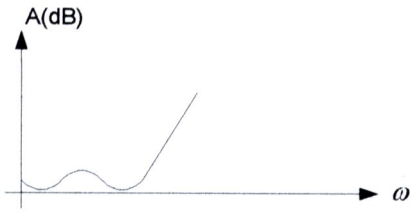
22. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ Chebyshev ที่อันดับ n = 2 มีค่า $g_1 = 0.843$, $g_2 = 0.622$, R = 1 ใช้งานที่ความถี่ $\omega_C = 1k$ rad/s ต่อกับโหลดขนาด 50Ω มีค่าอุปกรณ์โดยประมาณตามลำดับข้อใด

ก. $L_S = 110mH$, $C_P = 120\mu F$, $R = 50\Omega$ ข. $L_S = 120mH$, $C_P = 110\mu F$, $R = 50\Omega$

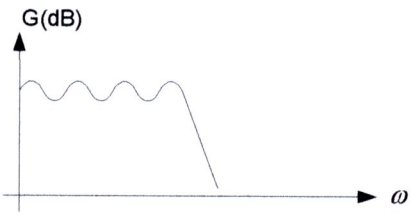
ค. $C_P = 12\mu F$, $L_S = 11mH$, $R = 50\Omega$ ง. $C_P = 11\mu F$, $L_S = 12mH$, $R = 50\Omega$

23. ข้อใดแสดงถึงกราฟการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของ Chebyshev ในอันดับที่ 2

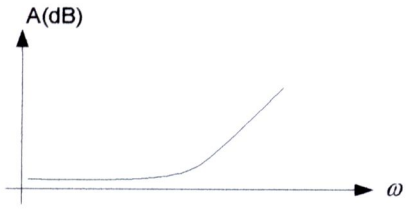
ก.



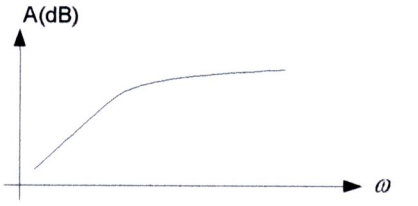
ข.



ค.



ง.



24. การประมาณค่าวงจรกรองความถี่ด้วยวิธี Butterworth และ Chebyshev ที่มีอัตราการขยายประมาณ -50dB/decade มีลักษณะตามข้อใด

ก. Chebyshev ใช้อุปกรณ์น้อยกว่า

ข. Chebyshev ไม่มีการกระเพื่อมของสัญญาณ

ค. Butterworth มีการกระเพื่อมของสัญญาณ

ง. วงจรทั้งสองใช้อุปกรณ์เท่ากัน

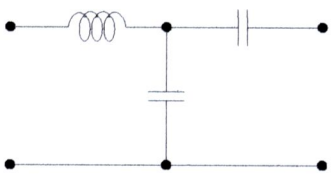
25. ประโยชน์ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนิยมใช้สำหรับงานในข้อใด

ก. ยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงผ่าน ข. ลดสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง

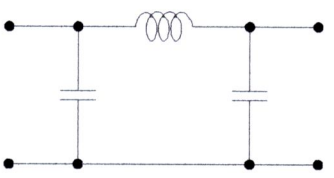
ค. เลือกย่านความถี่ที่ต้องการผ่าน ง. แยกย่านความถี่ที่ไม่ต้องการลงกราวด์

26. ข้อใดเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

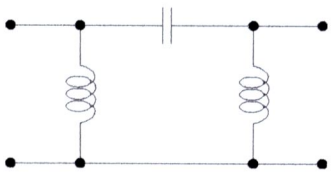
ก.



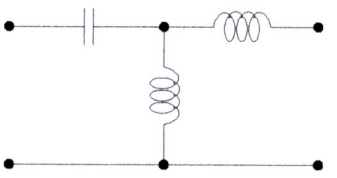
ข.



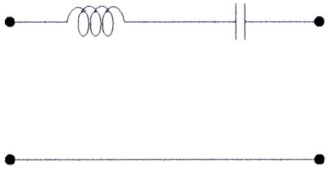
ค.

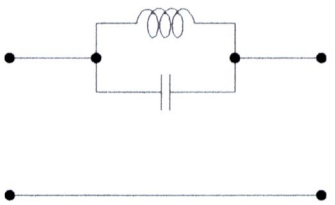


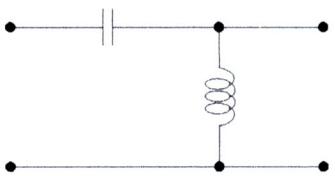
ง.

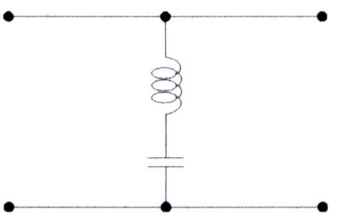


27. ข้อใดเป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

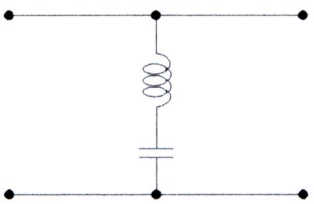
ก. 

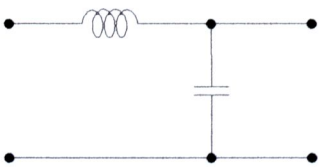
ข. 

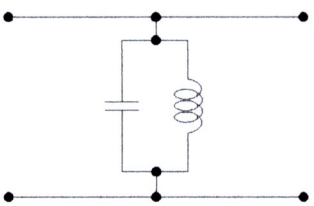
ค. 

ง. 

28. ข้อใดเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุด

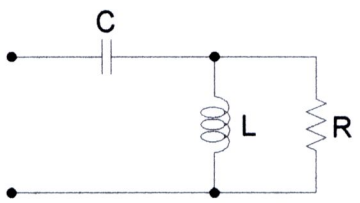
ก. 

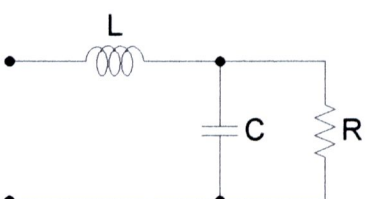
ข. 

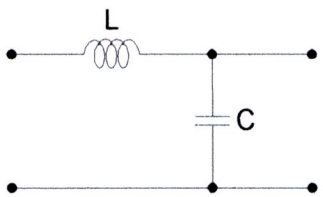
ค. 

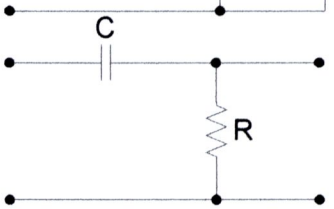
ง.

29. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอันดับ n = 2 มีลักษณะตามข้อใด

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 

30. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านต้นแบบที่มี ค่า $g_1 = g_3 = 1$, $g_2 = 2$ ต้องการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่ความถี่ตัด 50 kHz โหลดมีค่า 100 Ω ค่าของอุปกรณ์ต่อตามลำดับเป็นไปตามข้อใด

ก. $L_1 = 0.16H$, $C_2 = 0.3F$, $L_3 = 0.16H$

ข. $L_1 = 160\mu H$, $C_2 = 31.8nF$, $L_3 = 160\mu H$

ค. $C_1 = 31.8\mu F$, $L_2 = 0.16H$, $C_3 = 31.8\mu F$

ง. $C_1 = 31.8nF$, $L_2 = 160\mu H$, $C_3 = 31.8nF$

31. ระบบสื่อสารย่านความถี่วิทยุ นิยมใช้วงจรกรองความถี่ตามข้อใดมากที่สุด

ก. วงจรแถบความถี่ผ่าน

ข. วงจรแถบหยุดความถี่

ค.วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ง. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

32. ถ้ากำหนดให้ ω_1 และ ω_2 เป็นความถี่แถบด้านล่าง และด้านบนตามลำดับ สมการคำนวณค่าของความถี่กลาง (ω_0) ของวงจรกรองความถี่แถบผ่านคือข้อใด

ก. $\omega_0^2 = \omega_1\omega_2$

ข. $\omega_0 = \omega_1\omega_2$

ค. $\omega_0 = \omega_2 - \omega_1$

ง. $\omega_0 = \omega_1 + \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}\right)$

33. การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่านกำหนดให้ความถี่ $\omega_1 = 200k\ ^{rad}/_{s}$, $\omega_2 = 800k\ ^{rad}/_{s}$ ค่าของแถบความถี่ และความถี่กลางของวงจรคือข้อใด

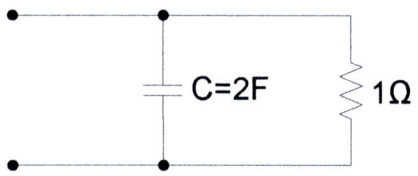
ก. $BW = 300\ ^{rad}/_{s}$, $\omega_0 = 200\ ^{rad}/_{s}$

ข. $BW = 300k\ ^{rad}/_{s}$, $\omega_0 = 200k\ ^{rad}/_{s}$

ค. $BW = 600\ ^{rad}/_{s}$, $\omega_0 = 400\ ^{rad}/_{s}$

ง. $BW = 600k\ ^{rad}/_{s}$, $\omega_0 = 400k\ ^{rad}/_{s}$

34 .กำหนดวงจรต้นแบบดังภาพ ต้องการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่านที่ความถี่กลางเท่ากับ 1 MHz แถบความถี่เท่ากับ 100 kHz โหลดเท่ากับ 50 Ω ค่าของอุปกรณ์คือข้อใด



ก. $L_s = 2.5nH$, $C_s = 400\mu F$

ข. $L_P = 2.5\mu H$, $C_P = 400nF$

ค. $L_s = 25\mu H$, $C_s = 0.4\mu F$

ง. $L_P = 2.5nH$, $C_P = 0.4\mu F$

35. พิจารณาวงจรกรองความถี่ต้นแบบ เมื่อปรับเปลี่ยนเป็นวงจรกรองความถี่แถบหยุด ตัวเหนี่ยวนำจะถูกเปลี่ยนเป็นวงจรตามข้อใด

ก. วงจร RC อนุกรม
ข. วงจร RC ขนาน
ค. วงจร LC อนุกรม
ง. วงจร LC ขนาน

36. วงจรต้นแบบดังภาพในข้อที่ 34 ต้องการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบหยุดที่ความถี่กลางเท่ากับ 1 MHz แถบความถี่เท่ากับ 100 kHz โหลดเท่ากับ 20 Ω ค่าของอุปกรณ์คือข้อใด

ก. $L_P = 100\mu H$, $C_P = 0.1\eta F$
ข. $L_P = 0.1mH$, $C_P = 0.1\eta F$
ค. $L_s = 0.1\mu H$, $C_s = 10\eta F$
ง. $L_s = 0.1mH$, $C_s = 10\eta F$

****

เฉลย แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

หน่วยการเรียนที่ 1 วงจรกรองความถี่พาสซีฟ Passive Filter Circuit

เรื่อง วงจรกรองความถี่พาสซีฟ

ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง
1	×				13		×			25		×		
2			×		14				×	26			×	
3		×			15			×		27	×			
4				×	16		×			28	×			
5	×				17					29		×		
6		×			18		×			30				×
7				×	19				×	31	×			
8		×			20	×				32	×			
9			×		21			×		33				×
10	×				22	×				34		×		
11			×		23	×				35			×	
12				×	24				×	36				×

ภาคผนวก ซ

- หนังสือรับรองการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 7

11

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

หนังสือรับรองฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น

ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ ๗

ในวันเสาร์ที่ ๑๙ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

ณ อาคารปิยมหาราช ชั้น ๔ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๙ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

ขอจงประสบความสำเร็จ ความเจริญ ก้าวหน้าตลอดไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัจฉรี ขจรไชยกูล)
ผู้อำนวยสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน

(รองศาสตราจารย์ ดร.เปรื่อง กิจรัตน์ภร)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวนุชนาฏ ชุ่มชื่น

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การสร้างและทดสอบประสิทธิ์ภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่องวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ

สาขาวิชา : ไฟฟ้า

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 28 มีนาคม 2523 จังหวัด ชุมพร

ที่อยู่ 55/9 ถนนกรมหลวงชุมพร ซอย 1 ตำบลท่าตะเภา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร 86000

Email sassyjang@hotmail.com

บิดาชื่อ นายนิคม ชุ่มชื่น

มารดาชื่อ นางอนงค์ ชุ่มชื่น มีพี่น้องทั้งหมด 3 คน เป็นบุตรคนที่ 3

ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคชุมพร ปีการศึกษา 2541

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคชุมพร ปีการศึกษา 2543

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (คอบ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2549