หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

เนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ โดยหัวข้อที่ 2.1 และหัวข้อที่ 2.2 อธิบายถึงเครื่องช่วยฟัง และปัญหาการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง ซึ่งเป็นที่มาของแบบจำลองของปัญหาการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.3

2.1 เครื่องช่วยฟัง

โดยทั่วไปเครื่องช่วยฟังจะประกอบไปด้วย ไมโครโฟน ทำหน้าแปลงสัญญาณเสียงหรือคลื่นเสียง (acoustic wave) เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งต่อไปยังส่วนที่เรียกว่าโครงสร้างหลัก ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียง จากนั้นสัญญาณเสียง (ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า) ที่ถูกขยายแล้วจะผ่านไปยังลำโพงและถูกเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้ากลับไปเป็นคลื่นเสียง แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟฟ้าเท่านั้น การกล่าวถึงเครื่องช่วยฟังต่อไปจึงหมายถึงโครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟังเท่านั้น

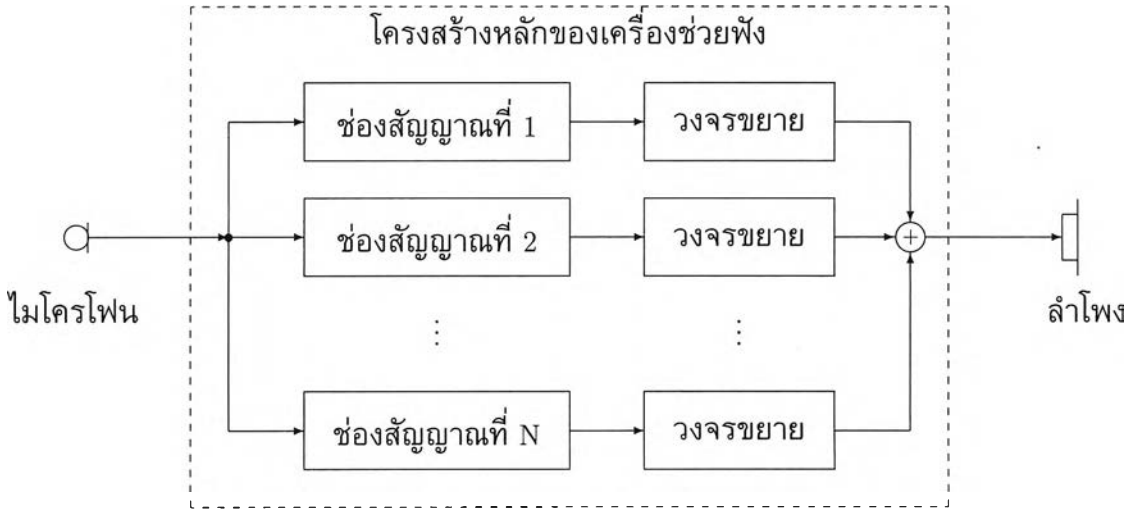
เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุของการสูญเสียการได้ยิน [2] และเข้าใจถึงที่มาของโครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟัง จำเป็นต้องมีความเข้าใจเรื่อง ลักษณะทางกายภาพของหู ซึ่งจะกล่าวถึงโดยสังเขปดังต่อไปนี้

ลักษณะทางกายภาพของหู

หูแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ หูชั้นนอก หูชั้นกลาง และหูชั้นใน

- หูชั้นนอกประกอบด้วยใบหู และรูหู ทำหน้าที่รับคลื่นเสียง (acoustic wave) และนำคลื่นเสียงไปสู่ แก้วหู (ไปสู่หูชั้นกลาง)
- หูชั้นกลาง ได้แก่ แก้วหู และกระดูกเล็ก ๆ สามชิ้น (ฆ้อน ทั่ง โคลน) หูชั้นนี้จะแปลงคลื่นเสียงในช่องหู (คลื่นเสียงในตัวกลางที่เป็นอากาศ) ไปเป็นคลื่นเสียงที่เดินทางในของเหลวในหูชั้นใน
- หูชั้นใน (cochlea) เป็นส่วนที่ถูกบรรจุไปด้วยของเหลว และประกอบด้วยเซลล์รับความรู้สึก (sensory cell) จำนวนมากที่ทำหน้าที่คล้ายกับตัววิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer) โดยระหว่างที่คลื่นเสียงเดินทางในหูชั้นใน คลื่นเสียงจะมีขนาด (amplitude) ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ตำแหน่งหนึ่งแล้วคลื่นจะลดขนาดลงไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งตำแหน่งที่คลื่นเสียงมีขนาดใหญ่สุดขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียง โดยคลื่นเสียงความถี่สูงจะมีขนาดสูงสุดที่ส่วนต้นของหูชั้นใน และคลื่นเสียงความถี่ต่ำจะมีขนาดสูงสุดที่ส่วนปลายของหูชั้นใน ดังนั้นเซลล์รับความรู้สึกที่อยู่ส่วนต้นของหูชั้นในจะเสื่อมเร็วกว่าเซลล์ที่อยู่ส่วนปลาย ซึ่งแสดงว่าโดยทั่วไปผู้ที่มีปัญหาการสูญเสียการได้ยินจะได้ยินเสียงความถี่ต่ำดังกว่าเสียงความถี่สูง

เนื่องจากหูของคนเราจะสูญเสียการได้ยินที่แต่ละช่วงความถี่ไม่เท่ากัน โครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟังจึงเป็นวงจรขยายสัญญาณ ที่มีอัตราขยายที่แต่ละช่วงความถี่มีค่าแตกต่างกัน [1]



รูปที่ 2.1: แผนภาพกล่องของเครื่องช่วยฟังที่มี N ช่องสัญญาณ

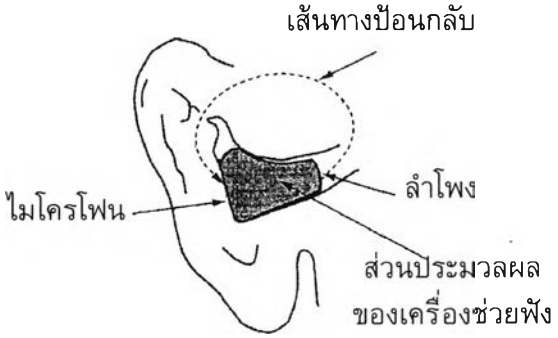
รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพกล่องของเครื่องช่วยฟังที่มี N ช่องสัญญาณ โดยช่องสัญญาณที่ i $(i = 1, 2, \ldots, N)$ แทนวงจรแยกสัญญาณเสียงช่วงความถี่ที่ i แต่ละช่องสัญญาณหรือแต่ละช่วงความถี่จะมีวงจรขยายที่มีอัตราขยายแตกต่างกัน และอัตราขยายมัก

จะปรับเปลี่ยนค่าได้มีทั้งแบบที่ใช้ปุ่มควบคุม และแบบที่ปรับค่าได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งโดยปกติแล้วผู้ใช้เครื่องช่วยฟังต้องปรับอัตราขยายเสียงให้เหมาะกับ การสูญเสียการได้ยินด้วยตนเอง

นอกจากปัญหาการปรับอัตราขยายเสียงให้เหมาะสมกับผู้ใช้เครื่องช่วยฟังแล้ว ผู้ใช้เครื่องช่วยฟังยังต้องพบกับปัญหาอื่น ๆ เช่น ปัญหาสัญญาณรบกวน (คือสัญญาณเสียงอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการฟังเช่น เสียงของเครื่องปรับอากาศ เสียงร้องของเด็ก เป็นต้น ซึ่งสัญญาณรบกวนเหล่านี้ จะถูกขยายสัญญาณไปพร้อมกับเสียงที่เราสนใจด้วย) และปัญหาการเกิดเสียงหอนเนื่องจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง โดยปัญหาทั้งสองนี้มีลักษณะของปัญหาและวิธีแก้ปัญหาแตกต่างกัน สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาปัญหา การเกิดเสียงหอนเนื่องจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง ซึ่งมีสาเหตุของปัญหา ลักษณะของปัญหาและวิธีแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

2.2 การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง (acoustic feedback in hearing aids)

การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง เกิดจากการที่สัญญาณเสียงย้อนกลับจากลำโพงของเครื่องช่วยฟังไปยังไมโครโฟนของเครื่องช่วยฟังอีกครั้ง โดยสัญญาณเสียงที่ย้อนกลับจากลำโพงไปยังไมโครโฟนเช่นนี้จะเรียกว่า สัญญาณเสียงป้อนกลับ และเส้นทางที่สัญญาณเสียงป้อนกลับเดินทางย้อนกลับจากลำโพงไปยังไมโครโฟน ซึ่งมีด้วยกันหลายเส้นทางแต่จะเรียกรวมกันว่า เส้นทางป้อนกลับ (feedback path) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การป้อนกลับ



รูปที่ 2.2: การป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

ทางเสียงในเครื่องช่วยฟังเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เครื่องช่วยฟังโดยทั่วไปจะมีช่องระบายอากาศ และมีช่องว่างระหว่างเครื่องช่วยฟังกับช่องหู ซึ่งช่องทางทั้งสองนี้เป็นเส้นทางหลักที่

ทำให้เสียงสามารถเดินทางย้อนกลับจากลำโพงไปยังไมโครโฟนได้ แต่ถึงแม้ว่าเครื่องช่วยฟังจะไม่มีช่องระบายอากาศ และช่องว่างระหว่างเครื่องช่วยฟังกับช่องหูจะน้อยมาก เสียงก็ยังสามารถย้อนกลับจากลำโพงไปยังไมโครโฟนได้ด้วยเส้นทางอื่น ๆ อีก [3]

เนื่องจากเส้นทางป้อนกลับทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณ และเครื่องช่วยฟังทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ กันไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่งวนผ่านเครื่องช่วยฟังแล้วถูกขยายสัญญาณมากกว่า ถูกลดทอนสัญญาณเมื่อย้อนกลับเข้าเครื่องช่วยฟังผ่านเส้นทางป้อนกลับ จะเป็นผลให้สัญญาณป้อนกลับนี้ถูกขยายทุก ๆ รอบที่ป้อนกลับเข้าเครื่องช่วยฟัง จนในที่สุดทำให้สัญญาณความถี่ดังกล่าวเกิดเสียงดังขึ้นที่เรียกว่าการเกิดเสียงหอน

นอกจากนี้เส้นทางป้อนกลับ และเครื่องช่วยฟังจะทำให้เฟสของสัญญาณที่มีความถี่ต่างกันเปลี่ยนไปไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นถ้าผลรวมของการเปลี่ยนเฟสที่เกิดจากการป้อนกลับและจากเครื่องช่วยฟัง ทำให้สัญญาณป้อนกลับเสริมกันกับสัญญาณใหม่ที่เข้ามาสู่เครื่องช่วยฟังก็อาจทำให้สัญญาณดังกล่าว ถูกเสริมและถูกขยายมากกว่าการลดทอนของเส้นทางป้อนกลับได้เช่นกัน หรือในทางกลับกันถ้าการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณป้อนกลับทำให้เกิดการหักล้างกันของสัญญาณก็อาจทำให้ไม่เกิดเสียงหอนขึ้น กล่าวโดยสรุปคือปัญหาการเกิดเสียงหอนที่เกิดจากการป้อนกลับจะเกิดขึ้นเมื่อ อัตราขยายของเครื่องช่วยฟังมากกว่าการลดทอนสัญญาณของเส้นทางป้อนกลับ หรือเฟสของสัญญาณป้อนกลับเสริมกับสัญญาณใหม่ที่เข้ามาสู่เครื่องช่วยฟัง

การแก้ปัญหาการเกิดเสียงหอนเนื่องจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

จากการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการเกิดเสียงหอนเนื่องจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟังที่มีผู้เสนอในรายงานการวิจัย สามารถสรุปแนวทางในการแก้ปัญหาได้เป็นสองแนวทาง โดยแบ่งตามความพยายามในการแก้ปัญหาดังนี้

1. พยายามป้องกันไม่ให้สัญญาณป้อนกลับกลายเป็นเสียงหอนโดย
    - การปรับเปลี่ยนเฟสของสัญญาณป้อนกลับไม่ให้มีเฟสเสริมกันกับสัญญาณที่เข้ามาใหม่ ตัวอย่างการแก้ปัญหาคือ การเพิ่มวงจรหน่วงเวลาเข้าไปในเครื่องช่วยฟังเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณ (time delay [4])
    - การลดอัตราขยายสัญญาณของเครื่องช่วยฟัง เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณป้อนกลับ

ถูกขยายสัญญาณมากกว่าการลดทอนสัญญาณของเส้นทางป้อนกลับ ตัวอย่างการแก้ปัญหาคือ การใช้วงจรกรองลดอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังเฉพาะความถี่ที่มีอัตราขยายสูง ๆ หรือความถี่ที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดเสียงหอน (inverse filtering [4], notch filter [3])

2. พยายามกำจัดสัญญาณป้อนกลับ ได้แก่

   - การแยกสัญญาณเสียงพูดออกจากสัญญาณป้อนกลับ เป็นผลพลอยได้จากการลดสัญญาณรบกวน ด้วยการใช้ไมโครโฟนมากกว่าหนึ่งตัวมารับสัญญาณและใช้วงจรแยกสัญญาณที่มาจากทิศทางด้านหน้าของผู้ใช้ โดยถือว่าเป็นทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง (superdirective array [5]) วิธีนี้จะกำจัดสัญญาณป้อนกลับไปได้บ้างแต่ไม่ดีนัก
   - การสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณป้อนกลับมาหักล้างกับ สัญญาณป้อนกลับที่เกิดขึ้นจริง ตัวอย่างของการแก้ปัญหาคือ การใช้วงจรกรองปรับตัวสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณป้อนกลับเพื่อหักล้างกับสัญญาณป้อนกลับที่เกิดขึ้นจริง (feedback cancellation [3], [4], [6], [7], [8], [9])

เนื่องจากแนวทางในการแก้ปัญหาแนวทางแรก เป็นเพียงการป้องกันไม่ให้สัญญาณป้อนกลับถูกขยายสัญญาณจนกลายเป็นเสียงหอนขึ้น โดยการป้อนกลับยังคงเกิดขึ้นอยู่ และวิธีการแก้ปัญหาตามแนวทางนี้จะทำให้ผลตอบเชิงความถี่ของเครื่องช่วยฟังเปลี่ยนไป เป็นผลให้สัญญาณเสียงพูดที่ออกจากเครื่องช่วยฟังผิดเพี้ยนไปจากเดิม นอกจากนี้วิธีการแก้ปัญหาลักษณะนี้ใช้ได้กับปัญหาการป้อนกลับที่มีลักษณะเฉพาะเท่านั้น ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้การแก้ปัญหาตามแนวทางนี้ไม่เป็นที่นิยม

ดังนั้นวิธีแก้ปัญหาเสียงหอนจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟังที่เราสนใจ (ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน) คือการแก้ปัญหาด้วยการกำจัดการป้อนกลับซึ่งจะใช้วงจรกรองปรับตัวสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณป้อนกลับ และตามรายการอ้างอิง [6] ได้แบ่งการแก้ปัญหาวิธีนี้ออกเป็น 2 แบบตามการปรับตัวของวงจรกรองปรับตัวที่ใช้ในการกำจัดเสียงป้อนกลับ แบบแรกวงจรกรองปรับตัวจะปรับค่าพารามิเตอร์ตลอดเวลาเรียกว่าแบบปรับตัวอย่างต่อเนื่องดังแสดงในแผนภาพกล่องรูปที่ 2.5 ส่วนแบบที่สองเรียกว่าแบบปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่องคือวงจรกรองปรับตัวจะปรับค่าพารามิเตอร์เฉพาะช่วงที่เสียงเงียบ (สัญญาณขาเข้ามีกำลังต่ำ) หรืออาจกำหนดให้ปรับค่าพารามิเตอร์ในช่วงอื่นด้วยเช่นช่วงใกล้จะเกิดเสียงหอน (ต้องเพิ่มวงจรคอยตรวจสอบ) รวมทั้งอาจกำหนดให้วงจรกรองปรับค่าพารามิเตอร์แบบรายคาบเช่นปรับค่าทุก ๆ 3 นาที เป็นต้น โดยช่วงที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์จะมีการตัดต่อวงจรตามแผนภาพกล่องในรูปที่ 2.6

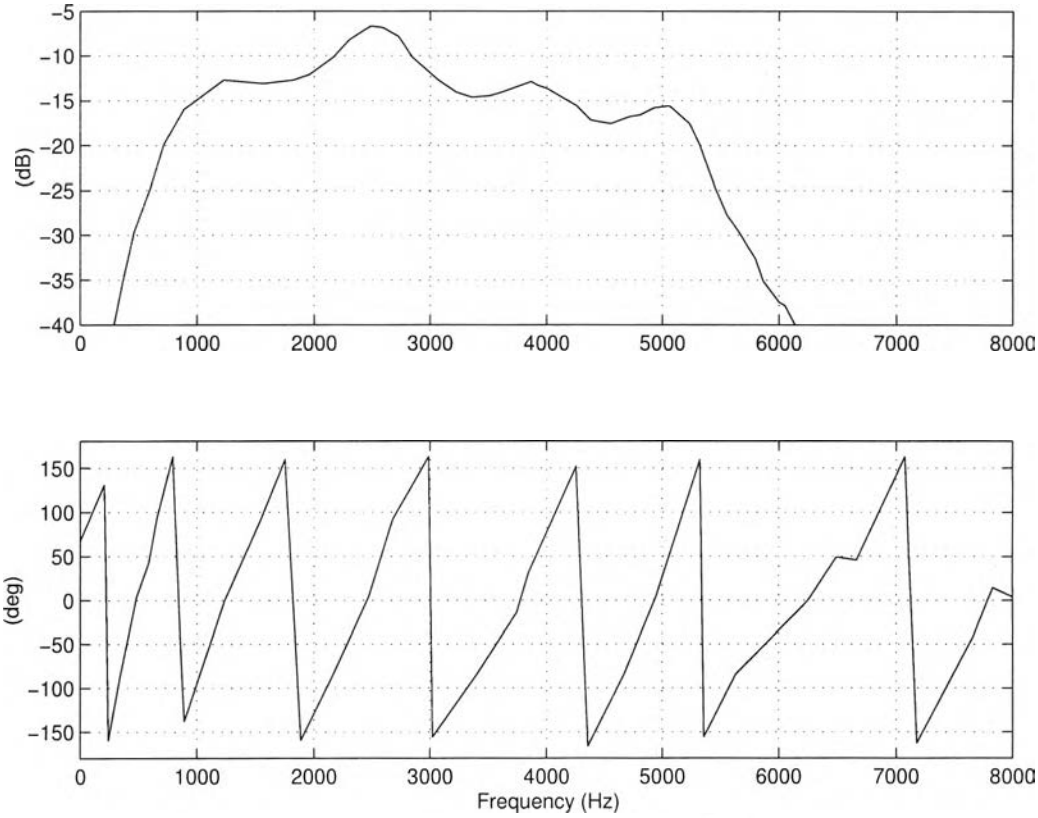
การปรับตัวทั้งสองแบบมีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน การปรับตัวอย่างต่อเนื่องมีข้อดีในแง่ที่มีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางป้อนกลับตลอดเวลา แต่มีข้อด้อยที่มีสัญญาณสุ่มอยู่ตลอดเวลาอาจรบกวนผู้ใช้ได้ และยังมีปัญหาการขาดเสถียรภาพด้วย ส่วนการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่องมีข้อดีคือ มีสัญญาณสุ่มเฉพาะตอนที่มีการปรับตัว และสัญญาณสุ่มที่ใช้มีกำลังต่ำ แต่มีข้อด้อยที่ไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางป้อนกลับตลอดเวลา และมีการขาดหายของสัญญาณเสียงในช่วงปรับค่าพารามิเตอร์ รวมทั้งอาจมีเสียงคลิกในจังหวะการตัดต่อวงจร

2.3 แบบจำลองของปัญหาการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

ในที่นี้เราจะแบ่งแบบจำลองของปัญหาออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกคือ แบบจำลองโครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟังที่แสดงในรูปที่ 2.1 โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้เครื่องช่วยฟังมีช่องสัญญาณเดียวและวงจรขยายมีอัตราขยายคงตัว ทั้งนี้เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหาและเพื่อความสะดวกในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ส่วนที่สองคือ วงจรกรองปรับตัวเป็นวงจรกรองตามขวางที่มีค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.1 ในบทที่ 3 สำหรับส่วนที่สามคือ แบบจำลองของเส้นทางป้อนกลับ และส่วนที่สี่คือสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานเครื่องช่วยฟังจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3.1 และหัวข้อที่ 2.3.2 ตามลำดับ

2.3.1 แบบจำลองของเส้นทางป้อนกลับ

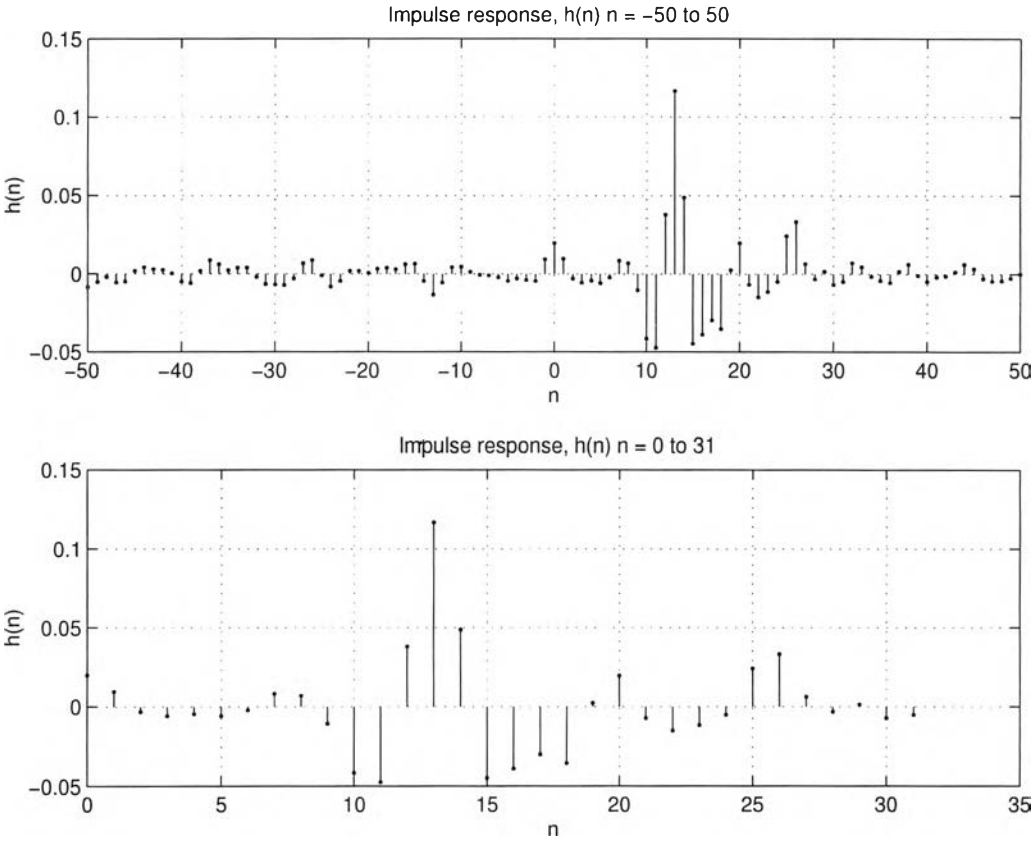
ในงานวิจัยนี้จะแทนเส้นทางป้อนกลับด้วย วงจรกรองที่มีค่าพารามิเตอร์เป็นผลตอบอิมพัลส์ (impulse response) ของเส้นทางป้อนกลับ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ได้ง่าย และเป็นแบบจำลองที่เชื่อถือได้เพราะผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับหาได้จากผลตอบเชิงความถี่ (frequency response) ของเส้นทางป้อนกลับที่วัดจริงจากเครื่องช่วยฟัง อย่างไรก็ตามข้อมูลผลตอบเชิงความถี่จากรายการอ้างอิงทางวิชาการส่วนใหญ่ จะให้ข้อมูลผลตอบเชิงความถี่เฉพาะขนาด (magnitude) ไม่มีข้อมูลเฟส (phase) ทำให้หาแบบจำลองที่มีความถูกต้องได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองที่หาจากกรณีที่มีข้อมูลครบทั้งขนาดและเฟสโดยใช้ข้อมูลผลตอบเชิงความถี่จากรายการอ้างอิง [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3: กราฟผลตอบเชิงความถี่ของเส้นทางป้อนกลับที่มีครบทั้งขนาดและเฟส [4]

การหาผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง มีขั้นตอนดังนี้ อ่านค่าขนาดและเฟสที่ความถี่ต่าง ๆ จากกราฟผลตอบเชิงความถี่ในรูปที่ 2.3 แปลงค่าขนาดจากหน่วยเดซิเบลเป็นไม่มีหน่วย แปลงค่าเฟสจากหน่วยองศา (deg) เป็นหน่วยเรเดียน (radian) และแปลงความถี่จากหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) เป็นหน่วยเรเดียน โดยให้ความถี่ 8 kHz เท่ากับ π เรเดียน (กำหนดให้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างเป็น 16 kHz) จากนั้นใช้การแปลงกลับดิสครีทไทม์ฟูริเยร์ โดยใช้วิธีการอินทิเกรทแบบวิธีเชิงเลข (numerical method) จะได้ผลตอบอิมพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (กำหนดให้ $h(n)$ คือผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับ)

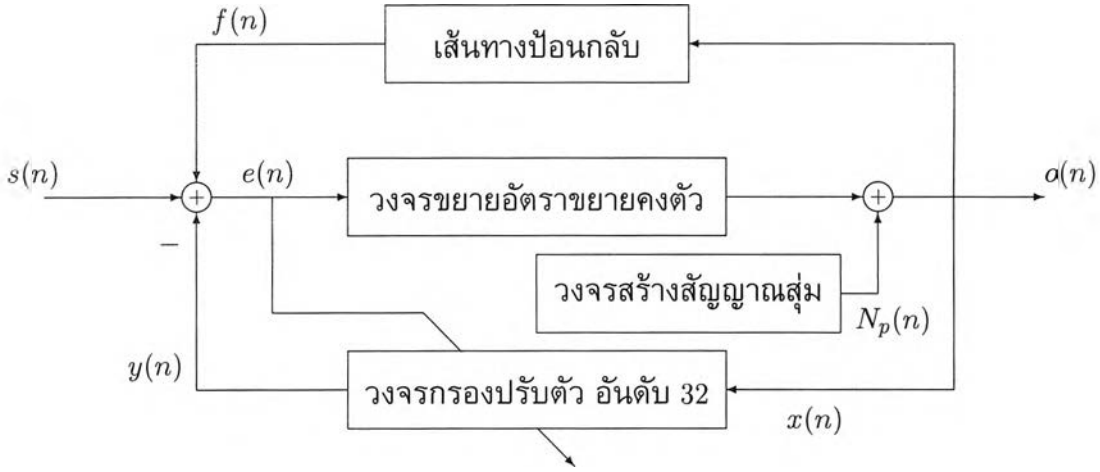
จากกราฟผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับพบว่าในช่วง n เป็นลบ ผลตอบอิมพัลส์มีค่าไม่เป็นศูนย์ (แต่ก็มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงค่า n เป็นบวกโดยเฉพาะช่วง $n = 0$ ถึง 31) ขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่าผลตอบอิมพัลส์ของระบบที่มีจริงในธรรมชาติต้องมีค่าเป็นศูนย์ในช่วง n เป็นลบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการอ่านค่ากราฟผลตอบเชิงความถี่ สำหรับในการจำลองแบบจะใช้ผลตอบอิมพัลส์เฉพาะช่วง $n = 0$ ถึง 31 เพราะผล



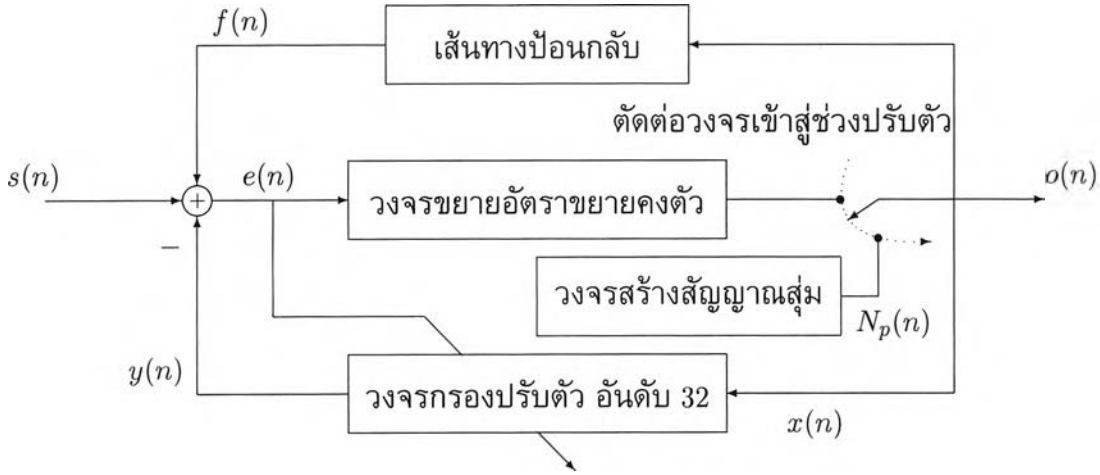
รูปที่ 2.4: กราฟผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับ

ตอบอิมพัลส์ที่ n อื่น ๆ มีค่าน้อย (เมื่อเปรียบเทียบกับช่วง $n = 0$ ถึง 31) และอาจเป็นค่าที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการอ่านกราฟ และความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ ดังนั้นแบบจำลองของเส้นทางป้อนกลับที่ใช้ในทุกการทดสอบของบทที่ 4 จะเป็นวงจรกรองอันดับ 32 ที่มีค่าพารามิเตอร์เป็นค่าคงตัวเท่ากับผลตอบอิมพัลส์ ของเส้นทางป้อนกลับ ที่ $n = 0$ ถึง 31 ตามกราฟในรูปที่ 2.4 (รายละเอียดเกี่ยวกับวงจรกรอง และวงจรกรองปรับตัวจะกล่าวถึงในบทที่ 3)

เมื่อได้แบบจำลองของเครื่องช่วยฟัง และแบบจำลองของเส้นทางป้อนกลับแล้ว จะสามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม MATLAB) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัว ที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้แบบต่าง ๆ โดยเลือกใช้วงจรกรองปรับตัวอันดับ 32 เช่นเดียวกับอันดับของวงจรกรองที่ใช้จำลองแบบเส้นทางป้อนกลับ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและเนื่องจากการเลือกอันดับของวงจรกรองปรับตัว ไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้แบบต่าง ๆ โดยจะได้แผนภาพกล่องที่แสดงแบบจำลองของปัญหาดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5: แผนภาพกล่องของแบบจำลองของปัญหาแบบที่มีการปรับตัวอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.6: แผนภาพกล่องของแบบจำลองของปัญหาแบบที่มีการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่อง

โดยที่เวลา n ใด ๆ $s(n)$ คือ สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $f(n)$ คือ สัญญาณที่เกิดจากการป้อนกลับ $y(n)$ คือ สัญญาณขาออกจากวงจรกรองปรับตัว $e(n)$ คือ ความคลาดเคลื่อน และ $o(n)$ คือ สัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง โดยสัญญาณสุ่ม $N_p(n)$ คือ สัญญาณที่ช่วยให้วงจรกรองปรับตัวปรับค่าได้ถูกต้อง

2.3.2 สัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานเครื่องช่วยฟัง

กำหนดให้ ที่เวลา n สัญญาณต่าง ๆ มีคุณสมบัติดังนี้
$s(n)$ คือ สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นสัญญาณสุ่มแบบ white Gaussian มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และกำหนดให้สัญญาณ $s(n)$ มีความแปรปรวน 3 ค่าแทน

ระดับความดังของเสียง 3 ระดับ คือค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 แทนเสียงที่มีความดังปกติ ค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.1 แทนช่วงที่เสียงเบา และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.01 แทนช่วงที่เสียงเงียบ ตามความเป็นจริงสัญญาณขาเข้าควรเป็นสัญญาณเสียงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริง เช่น เสียงพูดคุย เสียงเพลง เป็นต้น แต่เนื่องจากการทดสอบจะเปรียบเทียบผลจากค่าเฉลี่ยทางสถิติซึ่งจำเป็นต้องทดลองซ้ำ ๆ เป็น ร้อย หรือ อาจเป็นพันครั้ง โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องเปลี่ยนสัญญาณขาเข้าไปโดยไม่ซ้ำกัน ซึ่งเป็นการไม่สะดวกในการทำการทดสอบ

$Np(n)$ คือ สัญญาณสุ่มเพื่อช่วยในการปรับตัวของวงจรกรองปรับตัว กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นสัญญาณสุ่มแบบ white Gaussian มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.1 ทั้งนี้เพื่อให้วงจรกรองปรับตัวสามารถกำจัดสัญญาณป้อนกลับได้จะมีเงื่อนไขว่าค่าสหสัมพันธ์ไขว้ระหว่างสัญญาณ $Np(n)$ กับสัญญาณ $s(n)$ ต้องมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะสอดคล้องกับการใช้งานจริงกล่าวคือสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ จะเป็นเสียงพูดซึ่งไม่สัมพันธ์กับสัญญาณสุ่ม $Np(n)$ เลย

$\vec{x}(n) = (o(n-1),\ o(n-2),\ \ldots,\ o(n-32))^{\mathrm{T}}$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัวอันดับ 32

$\vec{h} = (h(0),\ h(1),\ \ldots,\ h(31))^{\mathrm{T}}$ คือ เวกเตอร์ของผลตอบอิมพัลส์ของเส้นทางป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง

$f(n)$ คือ สัญญาณที่เกิดจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง มีค่ากำหนดตามสมการ $f(n) = \vec{h}^{\mathrm{T}} \cdot \vec{x}(n)$ จะสังเกตว่าไม่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่สัญญาณป้อนกลับทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณ $s(n)$ ก็ถือว่าเป็นสัญญาณรบกวนของวงจรกรองปรับตัวอยู่แล้ว และเพื่อให้ผลกระทบของกำลังของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ ต่อการปรับตัวของวงจรกรอง ไม่สับสนกับผลของกำลังของสัญญาณรบกวนอื่น ๆ เราจึงกำหนดให้สัญญาณรบกวนอื่น ๆ เป็นศูนย์ไป

$\vec{w}(n) = (w_1(n),\ w_2(n),\ \ldots,\ w_{32}(n))^{\mathrm{T}}$ คือ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ของวงจรกรองปรับตัว

$y(n)$ คือ สัญญาณขาออกจากวงจรกรองปรับตัว มีค่าตามสมการ $y(n) = \vec{w}^{\mathrm{T}}(n) \cdot \vec{x}(n)$

$e(n)$ คือ ความคลาดเคลื่อน มีค่าตามสมการ $e(n) = s(n) + f(n) - y(n)$

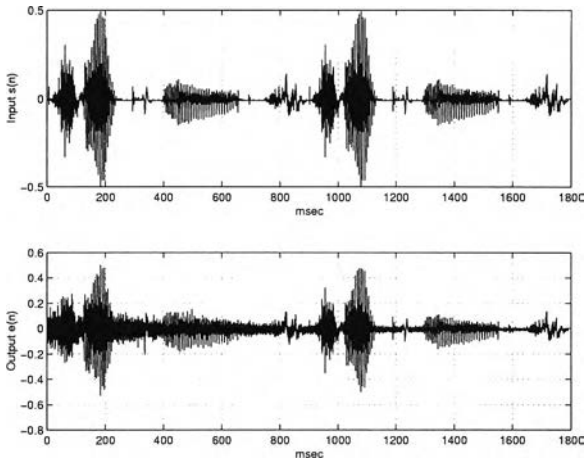
ในการทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัว ที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้แบบต่าง ๆ ในบทที่ 4 จะใช้เฉพาะโครงสร้างการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่องเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มีความแตกต่างจาก เครื่องช่วยฟังที่ใช้งานจริงและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงหลายประการ โดยประเด็นที่แตกต่างมากและมีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ คือการกำหนดให้โครงสร้างหลักของเครื่องช่วยฟังเป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายคงตัว (สำหรับโครงสร้างหลักที่ใกล้เคียงกับเครื่องช่วยฟังที่ใช้งานจริงได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.1 คือ แผนภาพในรูปที่ 2.1) และการกำหนดให้สัญญาณขาเข้า

ของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ เป็นสัญญาณสุ่มแบบ white Gaussian ซึ่งสัญญาณขาเข้าจริง จะเป็นเสียงพูดที่แตกต่างจากสัญญาณสุ่มมาก (การสร้างแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับเครื่องช่วยฟังที่ใช้งานจริง และให้ใกล้เคียงกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงทำได้ยาก การทดสอบส่วนมากจะให้คนทดลองใช้เครื่องช่วยฟังเพื่อประเมินประสิทธิภาพ)

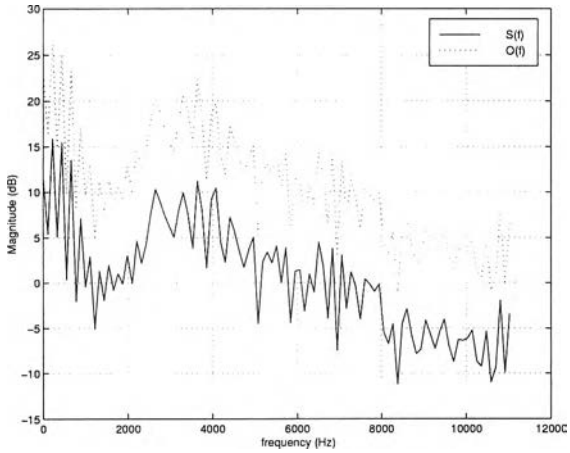
ความแตกต่างที่กล่าวถึงนี้ มีผลอย่างมากต่อความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบที่ใช้โครงสร้างการปรับตัวอย่างต่อเนื่อง เพราะว่าสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ และวงจรขยายจะมีผลโดยตรงต่อความคลาดเคลื่อน $e(n)$ และสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัว $x(n)$ ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือในการประเมินประสิทธิภาพของวงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวปรับค่าได้ อย่างไรก็ตามโครงสร้างการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่องจะไม่ได้รับผลดังกล่าวเพราะว่าการตัดต่อวงจรขณะที่มีการปรับตัว (ช่วงปรับค่าพารามิเตอร์) ของวงจรกรองปรับตัว ทำให้สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ มีผลต่อความคลาดเคลื่อน $e(n)$ เท่านั้น ส่วนวงจรขยายสัญญาณของเครื่องช่วยฟังจะไม่มีผลต่อการปรับตัวของวงจรกรองปรับตัวเลย และสัญญาณขาเข้าของวงจรกรองปรับตัว $x(n)$ จะขึ้นกับสัญญาณสุ่มที่ช่วยในการปรับค่าของวงจรกรองปรับตัว $Np(n)$ เท่านั้น

เพื่อแสดงให้เห็นว่า กรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟังเป็นสัญญาณเสียงพูดจริงแบบจำลองของปัญหาที่สร้างขึ้นยังสามารถใช้งานได้ เราจึงทดสอบแบบจำลองของปัญหาที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นกับกรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องฟังเป็นสัญญาณเสียงพูดจริง โดยใช้วงจรกรองปรับตัวที่มีขนาดช่วงก้าวค่าคงตัวเท่ากับ 0.001 และกำหนดให้อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 10 เนื่องจากแบบจำลองของปัญหาเป็นโครงสร้างการปรับตัวอย่างไม่ต่อเนื่องดังนั้นผลการทดสอบจึงแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกคือช่วงที่วงจรกรองปรับตัวปรับค่าพารามิเตอร์ เราจะแสดงผลการทดสอบด้วยกราฟความคลาดเคลื่อนของวงจรกรองปรับตัว $e(n)$ เปรียบเทียบกับกราฟของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนช่วงที่สองคือช่วงที่วงจรกรองหยุดปรับตัวและเครื่องช่วยฟังทำหน้าที่ขยายสัญญาณตามปกติ โดยจะแสดงผลด้วยกราฟสเปกตรัมของสัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $S(f)$ และสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องช่วยฟัง $O(f)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

จากกราฟในรูปที่ 2.7 จะสังเกตได้ว่าความคลาดเคลื่อนของวงจรกรองปรับตัว $e(n)$ จะใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงพูดก่อนเข้าเครื่องช่วยฟังมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นวงจรกรองปรับตัวจะกำจัดสัญญาณป้อนกลับได้ดีมากขึ้นและรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $S(f)$ และสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องช่วยฟัง $O(f)$ มีความใกล้เคียงกันมาก โดยสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องช่วยฟังจะมีค่ามากกว่าสเปกตรัมของ สัญญาณ



รูปที่ 2.7: สัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $s(n)$ และความคลาดเคลื่อนของวงจรกรองปรับตัว $e(n)$



รูปที่ 2.8: สเปกตรัมของสัญญาณเสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง $S(f)$ และสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ออกจากเครื่องช่วยฟัง $O(f)$

เสียงก่อนเข้าเครื่องช่วยฟัง 10 dB โดยประมาณ ซึ่งก็คือค่าของอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง ผลการทดสอบนี้เป็นการยืนยันว่าแบบจำลองของปัญหาที่สร้างขึ้น สามารถใช้ได้กับกรณีที่สัญญาณขาเข้าของเครื่องฟังเป็นสัญญาณเสียงพูดจริง แต่ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการทดสอบเราจะใช้สัญญาณขาเข้าของเครื่องฟังเป็นสัญญาณสุ่มที่ไม่สัมพันธ์กับ สัญญาณสุ่มที่ใช้เพื่อช่วยในการปรับค่าของวงจรกรองปรับตัว