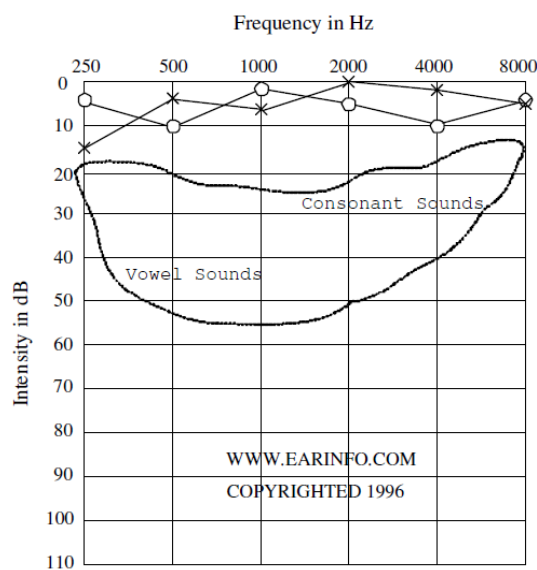


บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบจาก Audiogram

การออกแบบเพื่อสร้างวงจรกรองสัญญาณดิจิทัลชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดจะต้องพิจารณาจาก Audiogram ของบุคคลแต่ละรายเพื่อนำมาสร้างฟิลเตอร์ที่สามารถนำไปชดเชยการสูญเสียทางการได้ยิน โดยการได้ยินในหูคนปกติจะสามารถสรุปได้เป็น Audiogram ได้เป็นดังภาพที่ 3.1



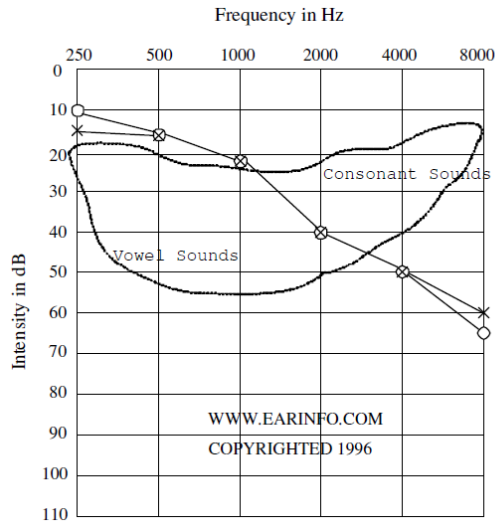
ภาพที่ 3.1 Audiogram ในหูคนปกติ

ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

โดยกำหนดให้ X, O เป็น ความสามารถในการได้ยินในหูซ้าย และขวา ตามลำดับ และในที่นี้ได้ทำการยกตัวอย่างรูปแบบของการสูญเสียทางการได้ยินในรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ตัวอย่างการสูญเสียการได้ยิน

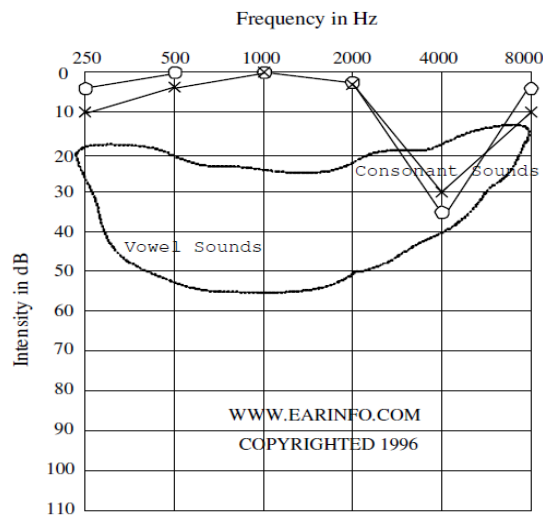
ตัวอย่างที่ 1 การสูญเสียทางการได้ยินเนื่องจากอายุ



ภาพที่ 3.2 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินเนื่องจากอายุ

ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

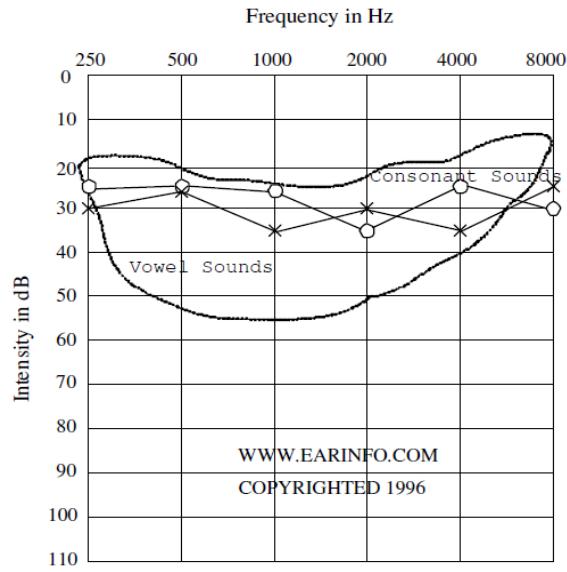
ตัวอย่างที่ 2 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ความถี่ประมาณ 4000 Hz



ภาพที่ 3.3 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ความถี่ประมาณ 4000 Hz

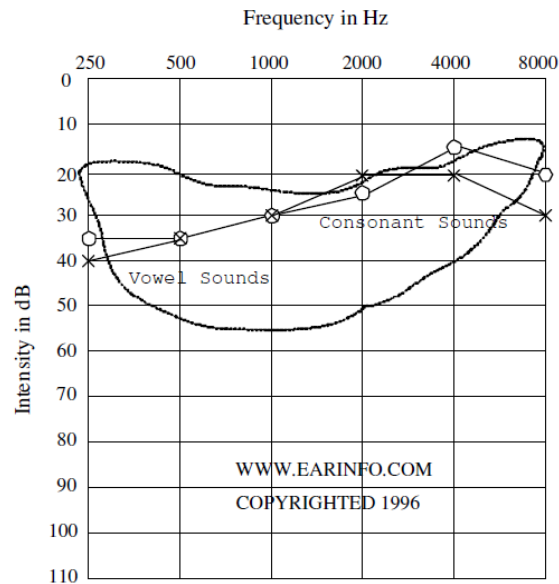
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 3 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีที่ 1



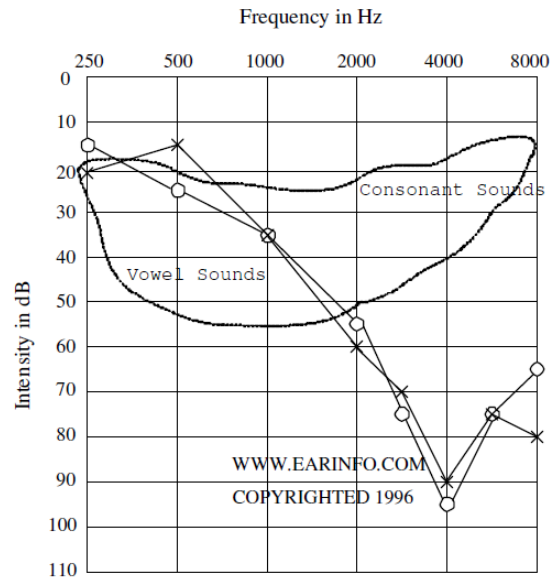
ภาพที่ 3.4 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีที่ 1
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 4 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีที่ 2



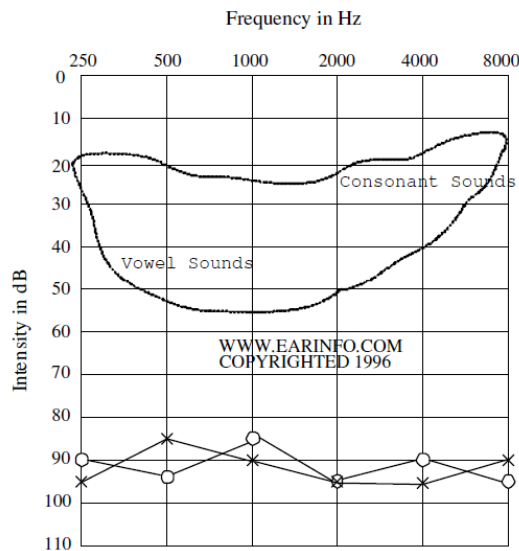
ภาพที่ 3.5 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีที่ 2
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 5 การสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในช่วงความถี่ประมาณ 4000 Hz



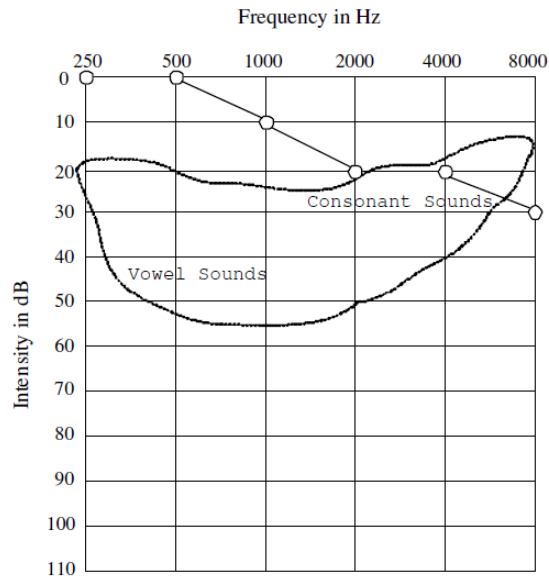
ภาพที่ 3.6 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในช่วงความถี่ประมาณ 4000 Hz
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 6 การสูญเสียทางการได้ยินการสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในทุกช่วงความถี่



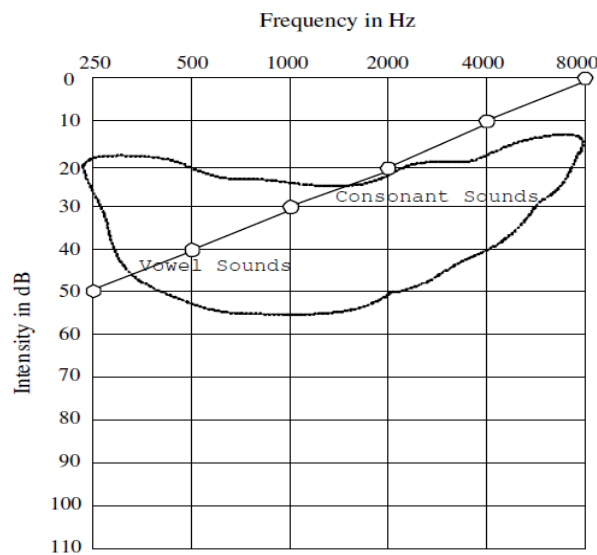
ภาพที่ 3.7 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินการสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในทุกช่วงความถี่
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 7 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ช่วงความถี่สูง



ภาพที่ 3.8 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ช่วงความถี่สูง
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

ตัวอย่างที่ 8 การสูญเสียทางการได้ยินแบบเป็น Linear



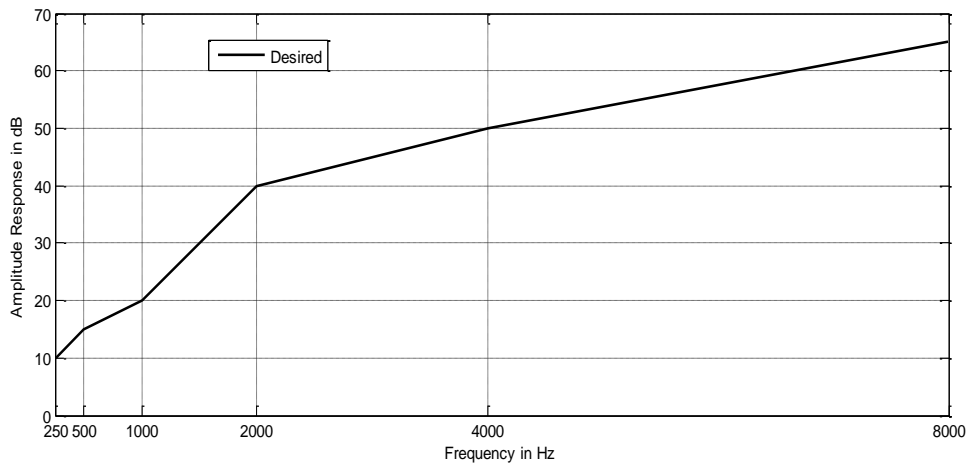
ภาพที่ 3.9 Audiogram การสูญเสียทางการได้ยินแบบเป็น Linear
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010

จากภาพที่ 3.1 ถึง ภาพที่ 3.9 จะเป็นการแสดงให้เห็นรูปแบบของการสูญเสียทางการได้ยิน จาก Audiogram ในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถทำการชดเชยทางการสูญเสียทางการได้ยินโดยใช้ Digital Filter ได้

3.1.2 คุณสมบัติของวงจรกรองสัญญาณที่นำมาชดเชยการได้ยิน

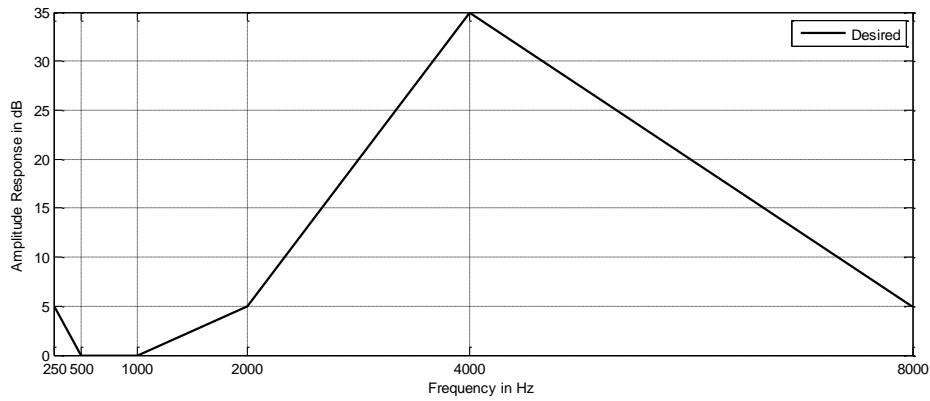
จากตัวอย่างในหัวข้อที่ผ่านมาเราปร่างคุณสมบัติของวงจรกรองสัญญาณที่นำมาสร้าง เพื่อชดเชยการได้ยินจะออกมาได้เป็นดังนี้

กรณีที่ 1 จากตัวอย่างที่ 1 การสูญเสียทางการได้ยินเนื่องจากอายุ จะได้เป็นดังภาพที่ 3.10



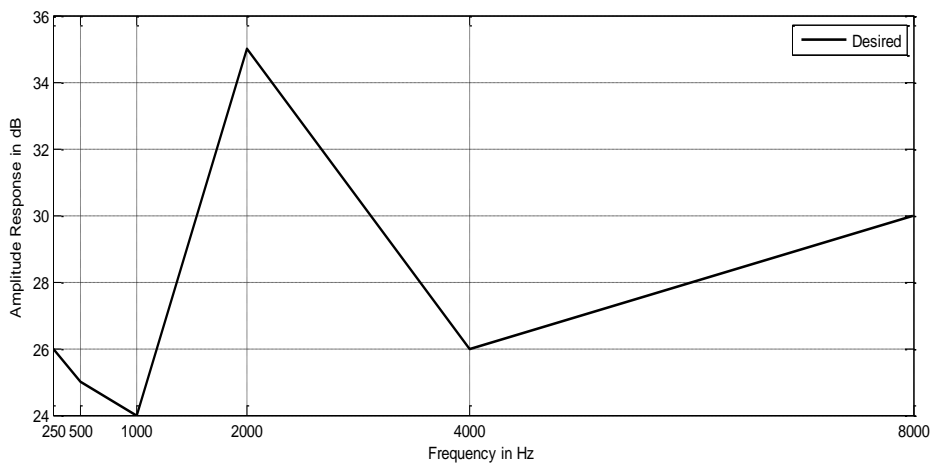
ภาพที่ 3.10 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 1

กรณีที่ 2 จากตัวอย่างที่ 2 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ความถี่ประมาณ 4000 Hz จะได้เป็นดังภาพที่ 3.11



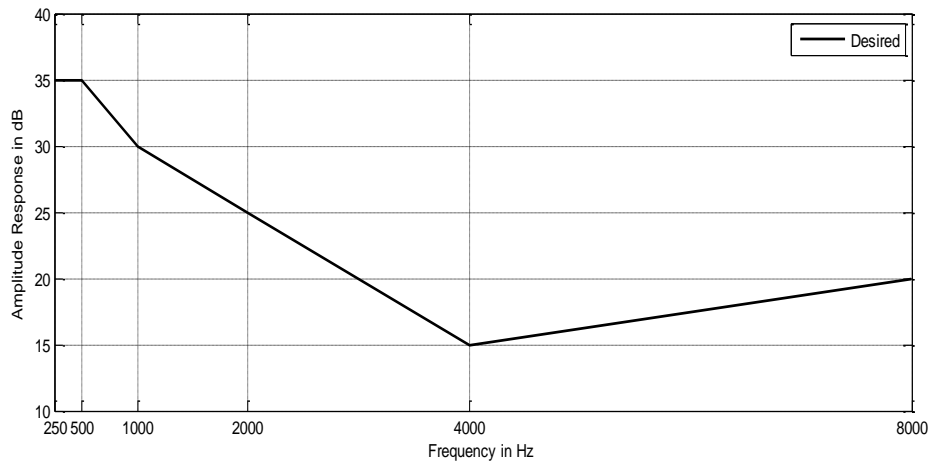
ภาพที่ 3.11 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 2

กรณีที่ 3 จากตัวอย่างที่ 3 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีที่ 1 จะได้เป็นดังภาพที่ 3.12



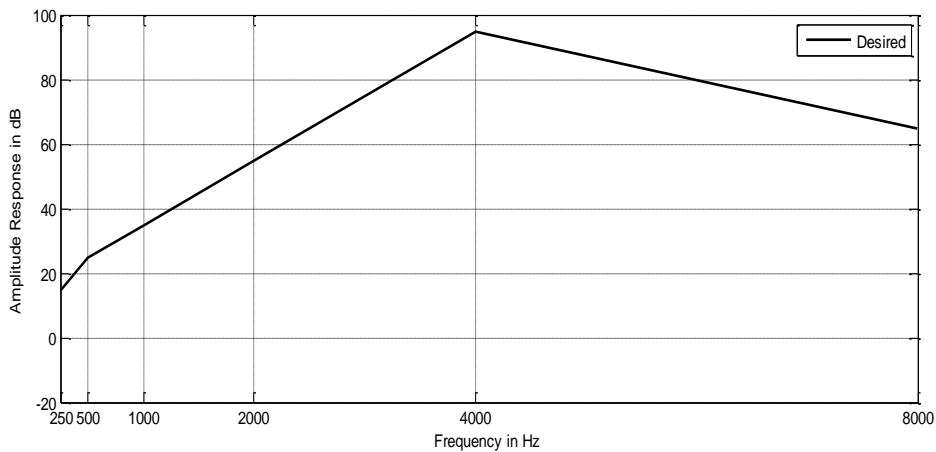
ภาพที่ 3.12 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 3

กรณีที่ 4 จากตัวอย่างที่ 4 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางในทุกช่วงความถี่กรณีนี้ 2 จะได้เป็นดังภาพที่ 3.13



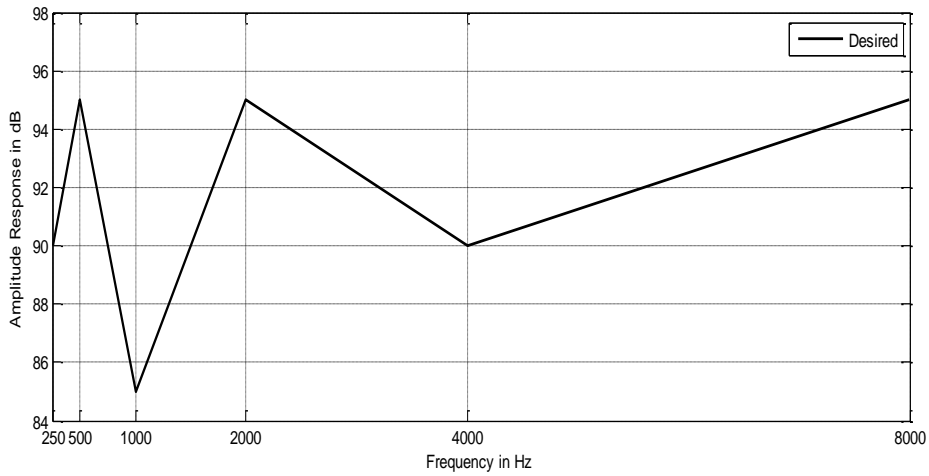
ภาพที่ 3.13 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 4

กรณีที่ 5 จากตัวอย่างที่ 5 การสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในช่วงความถี่ประมาณ 4000 Hz จะได้เป็นดังภาพที่ 3.14



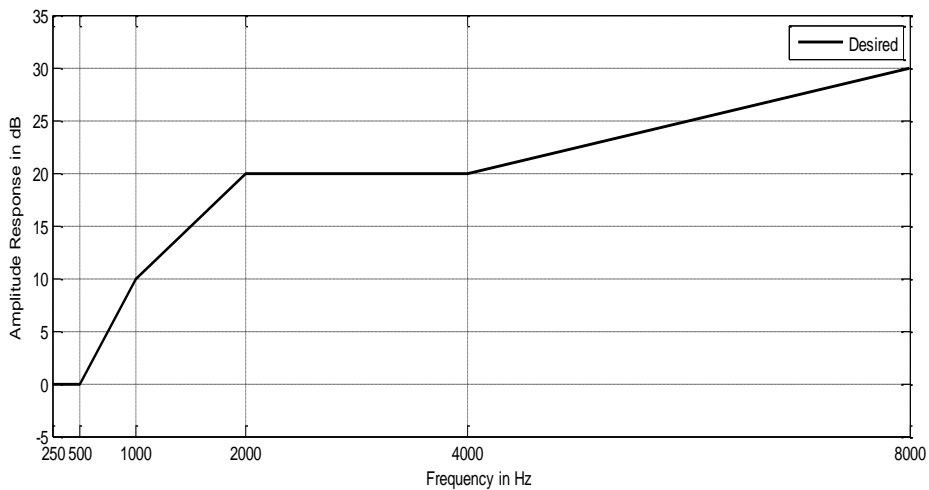
ภาพที่ 3.14 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 5

กรณีที่ 6 จากตัวอย่างที่ 6 การสูญเสียทางการได้ยินการสูญเสียทางการได้ยินแบบรุนแรงในทุกช่วงความถี่ จะได้เป็นดังภาพที่ 3.15



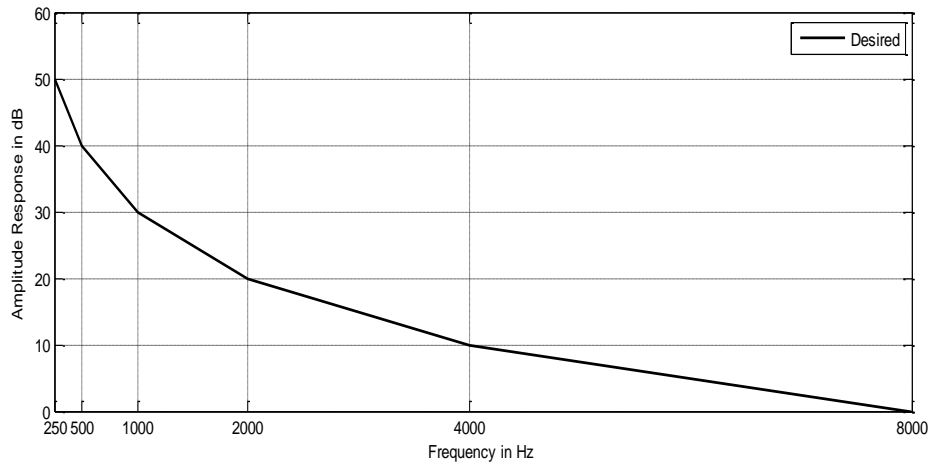
ภาพที่ 3.15 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 6

กรณีที่ 7 จากตัวอย่างที่ 7 การสูญเสียทางการได้ยินแบบปานกลางที่ช่วงความถี่สูง จะได้เป็นดังภาพที่ 3.16



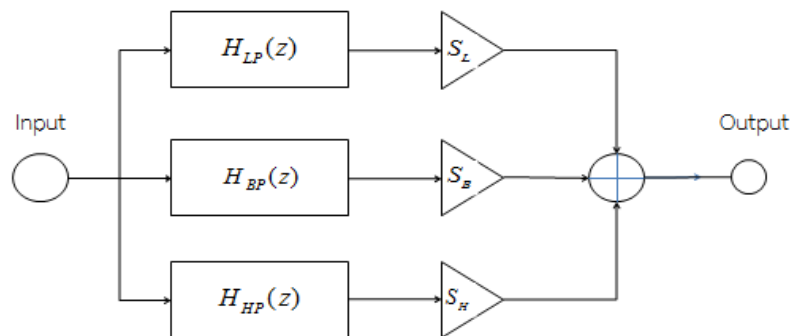
ภาพที่ 3.16 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 7

กรณีที่ 8 จากตัวอย่างที่ 8 การสูญเสียทางการได้ยินแบบเป็น Linear จะได้เป็นดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 รูปร่างคุณลักษณะของวงจรรองสัญญาณที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินจากตัวอย่างที่ 8

โดยโครงสร้างของวงจรรองสัญญาณดิจิทัลที่นำมาใช้งานนี้จะใช้วงจรรองสัญญาณดิจิทัลชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดจำนวน 3 วงจร คือวงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน วงจรรองสัญญาณแถบความถี่ผ่าน และวงจรรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน โดยนำมาต่อกันแบบขนานเป็นชุดวงจรรองสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 โครงสร้างของชุดวงจรรองสัญญาณ

โดยที่ในแต่ละวงจรรองสัญญาณจะสามารถปรับค่าความถี่ตัด และอัตราการขยายได้ ซึ่งเรียกว่าเป็นวงจรรองปรับค่าได้ ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของชุดวงจรรองสัญญาณในภาพที่ 3.18 สามารถแสดงได้ดังนี้

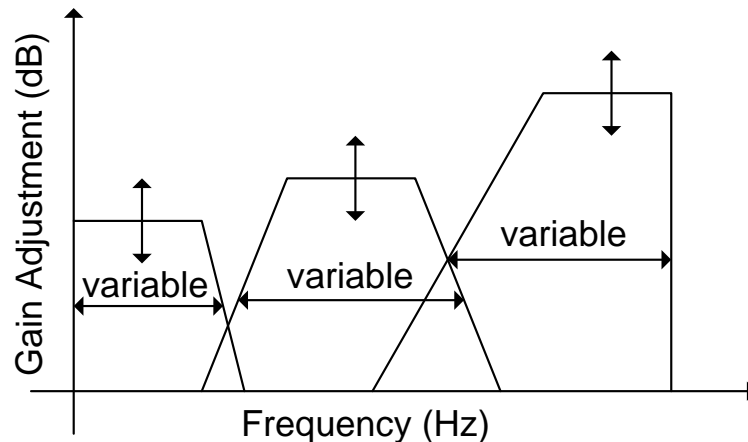
$$H(z, \mathbf{x}) = S_L \cdot H_{LP}(z) + S_B \cdot H_{BP}(z) + S_H \cdot H_{HP}(z) \quad (3.1)$$

ซึ่ง \mathbf{x} เป็นเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของชุดวงจรรองสัญญาณให้มีผลตอบสนองทางขนาดในรูปแบบที่นำไปชดเชยการสูญเสียทางการได้ยิน

สำหรับการออกแบบที่มาจากวงจรรองสัญญาณอนาล็อกต้นแบบบรรทัดฐานความถี่ต่ำแบบ Chebyshev type-I \mathbf{x} คือเวกเตอร์ของค่าความถี่ตัด และอัตราขยายของแต่ละวงจรรองสัญญาณที่ประกอบกันเป็นชุดวงจรรองสัญญาณ

$$\mathbf{x} = [f_L \quad f_{B1} \quad f_{B2} \quad f_H \quad G_L \quad G_B \quad G_H] \quad (3.2)$$

ด้วยรูปแบบของการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ค่า ในเวกเตอร์ \mathbf{x} ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถใช้โครงสร้างของชุดวงจรรองสัญญาณดังในภาพที่ 3.18 ในการสร้างผลตอบสนองทางขนาดที่ไปชดเชยรูปแบบการสูญเสียทางการได้ยินตามแนวคิดในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 แนวคิดการสร้างผลตอบสนองทางขนาด สำหรับชดเชยการสูญเสียทางการได้ยิน

ในการที่จะทำให้ชุดวงจรรองสัญญาณที่ประกอบไปด้วยวงจรรองสัญญาณปรับค่าได้ 3 วงจร มีผลตอบสนองรวมในลักษณะที่ไปชดเชยการสูญเสียทางการได้ยินนั้น ความกว้างของแถบความถี่ซึ่งกำหนดจากค่าความถี่ตัด และอัตราขยายของแต่ละวงจรรองจะได้มาจากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธี Nelder-Mead โดยจะทำการหาค่าต่ำที่สุดจากเงื่อนไข ดังในสมการที่ (3.4)

สำหรับการออกแบบโดยใช้ไบควอดเรติก (biquadratic) เป็นวงจรรองสัญญาณเชิงอุปมาต้นแบบ \mathbf{x} ได้ คือเวกเตอร์ของค่าความถี่ตัด ค่า Q และอัตราขยายของแต่ละวงจรรองสัญญาณ

$$\mathbf{x} = [f_L \quad f_B \quad f_H \quad Q_{LP} \quad Q_{BP} \quad Q_{HP} \quad S_L \quad S_B \quad S_H] \quad (3.3)$$

โดยเวกเตอร์ \mathbf{x} รวมเป็น 9 พารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้ คือเวกเตอร์ของค่าความถี่ตัด ค่า Q และอัตราขยายของแต่ละวงจรรองสัญญาณที่ประกอบกันเป็นชุดวงจรรองสัญญาณใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของชุดวงจรรองสัญญาณ ให้มีผลตอบสนองทางขนาดในรูปแบบที่นำไปชดเชยการสูญเสียการได้ยิน

ขั้นตอนพื้นฐานของการออกแบบ มีดังนี้ สมมติว่ารูปแบบการได้ยินที่ถูกกำหนดมาให้เป็น threshold $M_d(\hat{f}_i)$ ในหน่วย เดซิเบล (dB) ที่ถูกวัดโดยการกำหนดความถี่ octave \hat{f}_i โดย $\hat{f}_i = 250/500/1k/2k/4k/8k$ Hz. ซึ่งจุด $M_d(\hat{f}_i)$ จะถูก interpolate ซึ่งจะทำให้ได้

$$M_d(f_i) = M_d(\hat{f}_i), \quad \text{ถ้า } f_i = \hat{f}_i$$

สุดท้ายจะได้ค่า สัมบูรณ์ของค่าผิดพลาดมากที่สุด E_{\max} ในหน่วยเดซิเบล

$$E_{\max}(\mathbf{x}) = \max\{|M(f_i, \mathbf{x}) - M_d(f_i)|\} \quad (3.4)$$

เมื่อ

$M_d(f_i)$ คือ ผลตอบสนองทางขนาดที่ต้องการ สำหรับการชดเชยการสูญเสียทางการได้ยิน

ยิน

$M(f_i, \mathbf{x})$ คือ ผลตอบสนองทางขนาดของชุดวงจรรองสัญญาณที่ออกแบบโดยมีเวกเตอร์ \mathbf{x} เป็นตัวกำหนดผลตอบสนองที่ได้

$E_{\max}(\mathbf{x})$ คือ ฟังก์ชันค่าผิดพลาดสูงสุดระหว่างผลตอบสนองทางขนาดที่ต้องการกับผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากการออกแบบ

โดยเมื่อพิจารณาจากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Nelder-Mead จะสรุปได้ว่า จะทำการหาค่าต่ำที่สุดของ $E_{\max}(\mathbf{x})$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันหลัก $f(x)$ ที่ใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยวิธี Nelder-Mead

จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ในเวกเตอร์ \mathbf{x} นั้น พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรความถี่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของชุดวงจรกรองสัญญาณให้มีผลตอบสนองทางขนาดตามที่ต้องการ จะมีช่วงของความถี่ที่เป็นไปได้อยู่ไม่เกินค่า 8000 Hz ซึ่งเป็นค่าความถี่สูงสุดที่ใช้ในการทดสอบการสูญเสียการได้ยิน ดังนั้นเพื่อให้ช่วงของค่ามีค่าน้อยกว่าเดิมเพื่อช่วยในการหาค่าตอบทำได้ดีขึ้นสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนตัวแปรจากเดิมที่ใช้ในรูปความถี่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ ได้ดังนี้

สำหรับการหาค่าความถี่ตัดกรณีของ lowpass

$$f_L = |\sin(x_1)|\Delta_1 \quad (3.5)$$

สำหรับการหาค่าความถี่ตัดกรณีของ bandpass

$$f_{B1} = |\sin(x_2)|\Delta_1 \quad (3.6)$$

$$f_{B2} = f_{B1} + |\sin(x_3)|\Delta_2 \quad (3.7)$$

สำหรับการหาค่าความถี่ตัดกรณีของ highpass

$$f_H = |\sin(x_4)|\Delta_1 \quad (3.8)$$

เมื่อ $\Delta_1 = 8000 \text{ Hz}$ และ $\Delta_2 = \Delta_1 - f_{B1}$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.44), (3.45), (3.46) และ (3.47) สามารถสรุปตัวแปรความถี่ใหม่ได้ดังนี้

$$x_1 = \arcsin\left(\frac{f_L}{\Delta_1}\right) \quad (3.9)$$

$$x_2 = \arcsin\left(\frac{f_{B1}}{\Delta_1}\right) \quad (3.10)$$

$$x_3 = \arcsin\left(\frac{f_{B2} - f_{B1}}{\Delta_2}\right) \quad (3.11)$$

$$x_4 = \arcsin\left(\frac{f_H}{\Delta_1}\right) \quad (3.12)$$

ดังนั้นเวกเตอร์ \mathbf{x} ใหม่ที่ได้ คือ

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad G_L \quad G_B \quad G_H] \quad (3.13)$$

และ $\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad Q_{LP} \quad Q_{BP} \quad Q_{HP} \quad S_L \quad S_B \quad S_H]$ (3.14)