

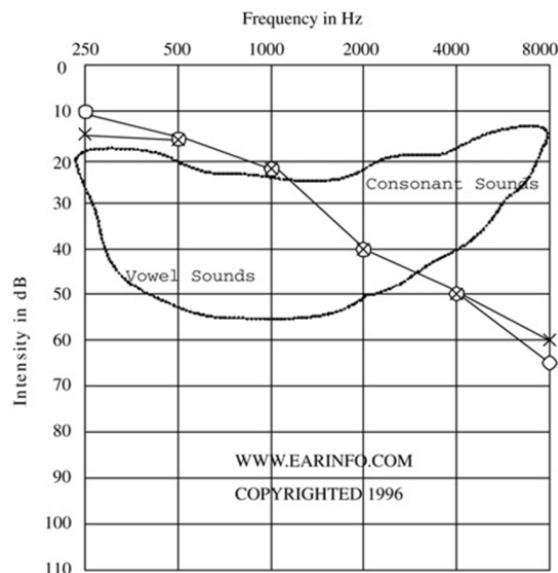
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองการออกแบบ IIR Digital Filter ด้วยวิธี Bilinear Pascal Matrix

4.1.1 ผลการทดลองสร้างวงจรกรองที่ $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I [1]

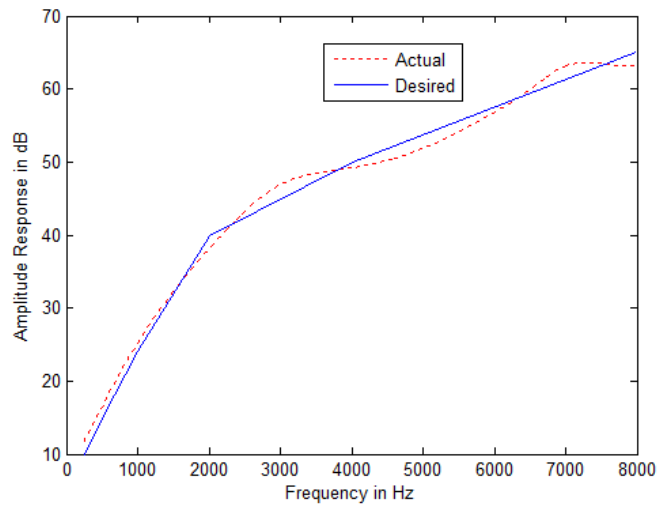
$$H_a(s) = \frac{1}{B_0 + B_1s + B_2s^2}, \quad \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.6013 \\ 1.4841 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Audiogram 1



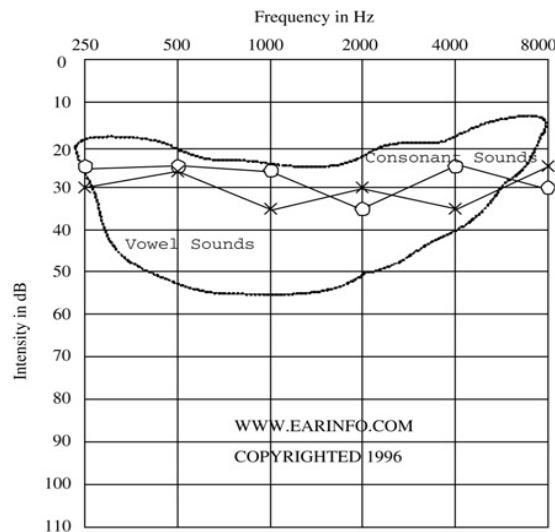
ภาพที่ 4.1 แสดงการสูญเสียการได้ยินทั่วไปอันเนื่องมาจากอายุ (ทั้งหูซ้ายและหูขวา) เป็นย่านความถี่สูง และเกณฑ์การได้ยินกว้าง โดยกำหนดให้ 'x', 'o' เป็นความสามารถในการได้ยินในหูซ้ายและขวา ตามลำดับ

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



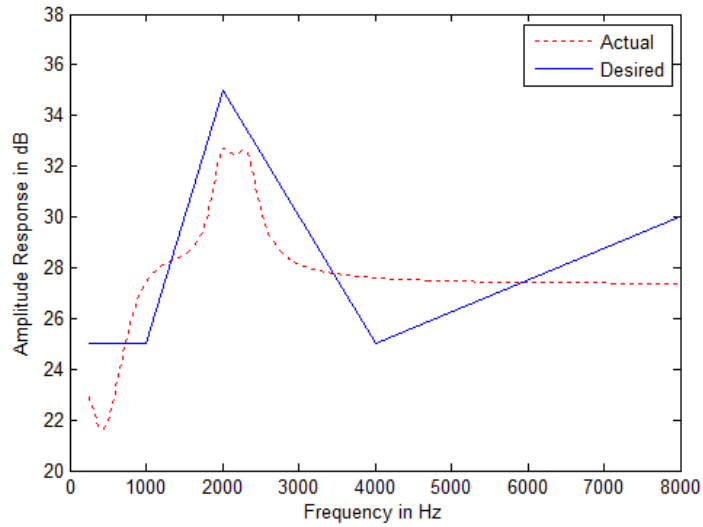
ภาพที่ 4.2 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 1 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.89dB

Audiogram 2



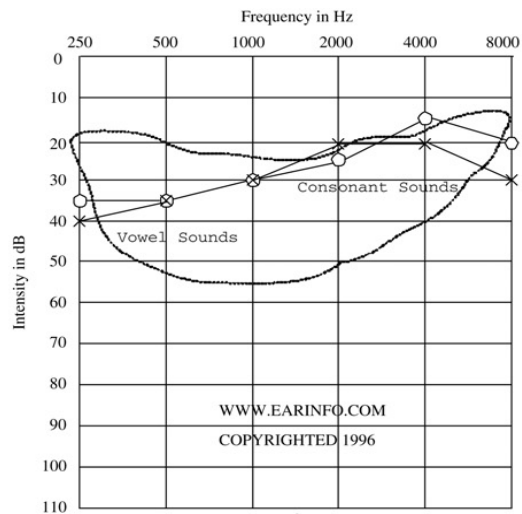
ภาพที่ 4.3 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียการได้ยินของแถบความถี่ทั้งหมด ซึ่งการสูญเสียนี้จะมีปัญหาในการได้ยินเสียงสระมากที่สุด และจะมีปัญหากับเสียงพยัญชนะในสถานะที่มีเสียงดัง

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



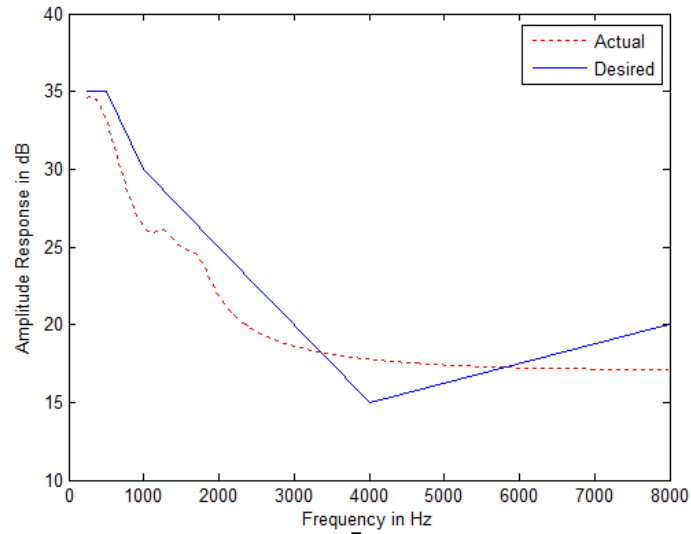
ภาพที่ 4.4 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 2 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.61dB

Audiogram 3



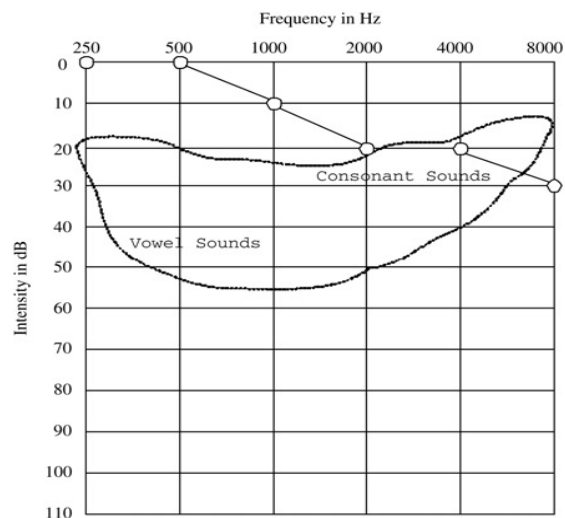
ภาพที่ 4.5 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียการได้ยินในระดับน้อยถึงปานกลางที่ความถี่ต่ำ และระดับการสูญเสียการได้ยินระดับน้อยที่ความถี่สูง ผลกระทบหลักจะเป็นการสูญเสียของเสียงดังโดยรวม เพราะไม่สามารถได้ยินเสียงสระส่วนใหญ่ ดังนั้นการสนทนาในระยะที่ใกล้จึงมีความจำเป็น

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



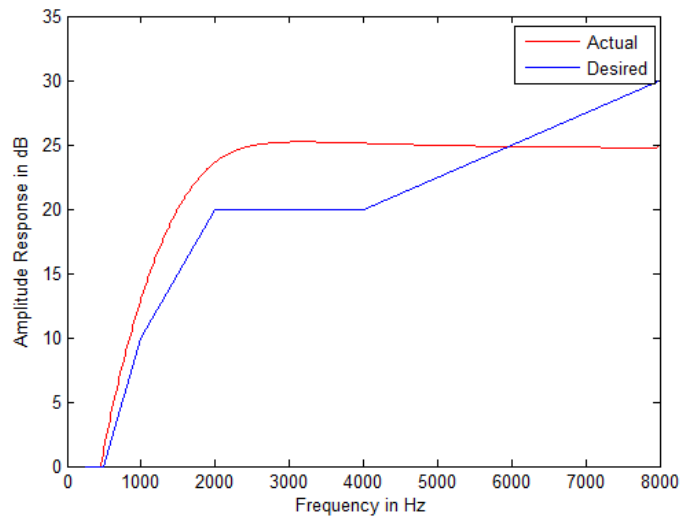
ภาพที่ 4.6 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 3 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.88dB

Audiogram 4



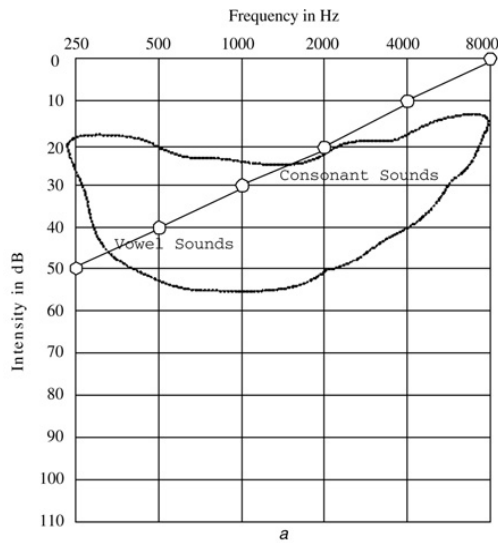
ภาพที่ 4.7 แสดงรูปแบบการได้ยินที่ถูกใช้ใน [2] ซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินในระดับน้อยที่ความถี่สูงและถูกเรียกว่าการสูญเสียแบบ ski slope

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

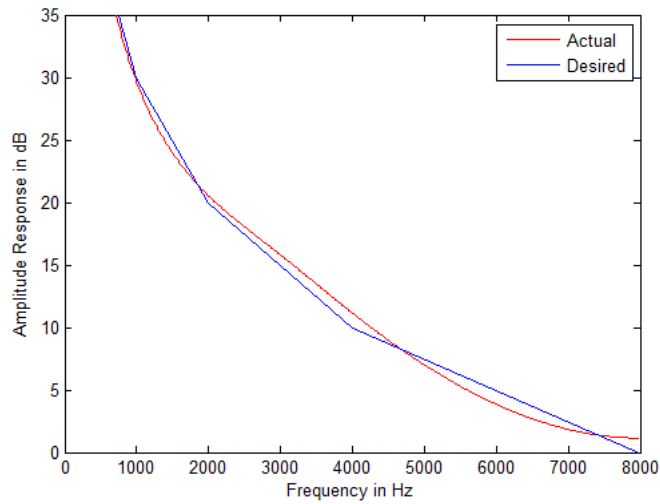


ภาพที่ 4.8 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 4 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 5.22dB

Audiogram 5



ภาพที่ 4.9 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียที่ย่านความถี่เดียวที่ความถี่สูง
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010



ภาพที่ 4.10 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 5 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(s)$ เป็นแบบ Chebyshev type I ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.15dB

4.1.2 ผลการทดลองสร้างวงจรกรองที่ $H_a(s)$ เป็นแบบ Biquadratic โดย $H(s)$ สำหรับ lowpass คือ

$$H_{LP}(s) = \frac{\Omega_{LP}^2}{\Omega_{LP}^2 + \left(\frac{\Omega_{LP}}{Q_{LP}}\right)s + s^2}$$

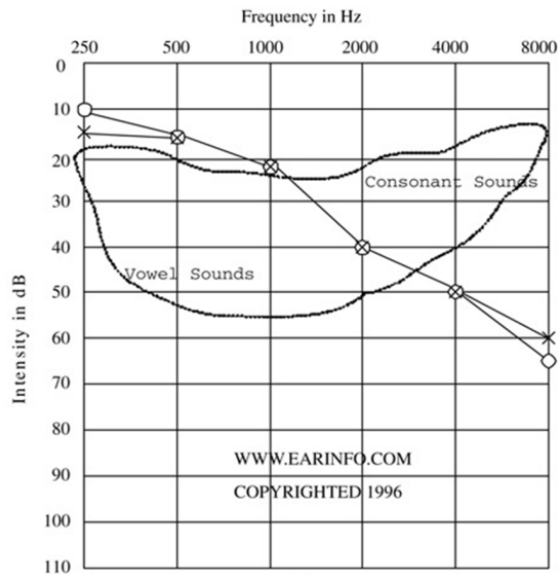
โดย $H(s)$ สำหรับ bandpass คือ

$$H_{BP}(s) = \frac{\left(\frac{\Omega_{BP}}{Q_{BP}}\right)s}{\Omega_{BP}^2 + \left(\frac{\Omega_{BP}}{Q_{BP}}\right)s + s^2}$$

โดย $H(s)$ สำหรับ highpass คือ

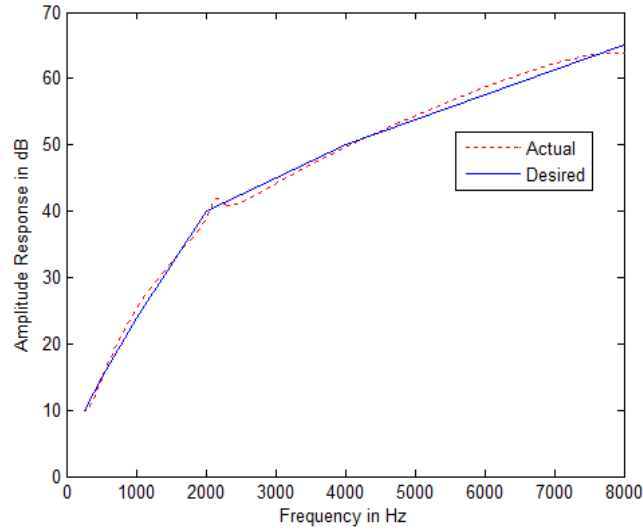
$$H_{HP}(s) = \frac{s^2}{\Omega_{HP}^2 + \left(\frac{\Omega_{HP}}{Q_{HP}}\right)s + s^2}$$

Audiogram 1



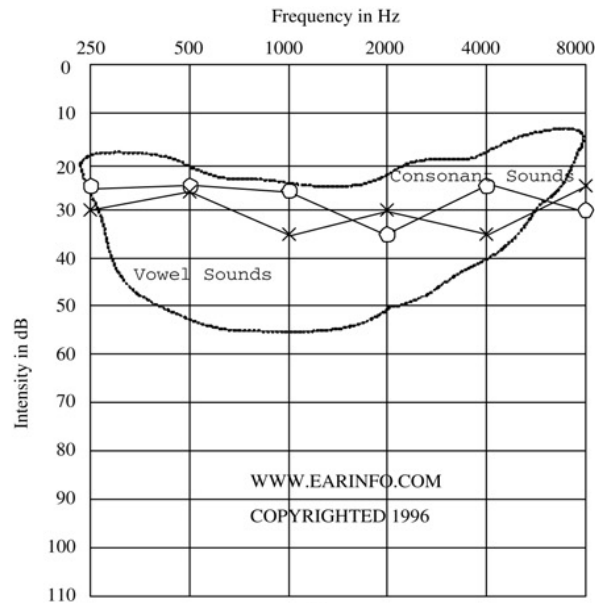
ภาพที่ 4.11 แสดงการสูญเสียการได้ยินทั่วไปอันเนื่องมาจากอายุ (ทั้งหูซ้ายและหูขวา) เป็นย่านความถี่สูง และเกณฑ์การได้ยินกว้าง โดยกำหนดให้ 'x', 'o' เป็นความสามารถในการได้ยินในหูซ้ายและขวา ตามลำดับ

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



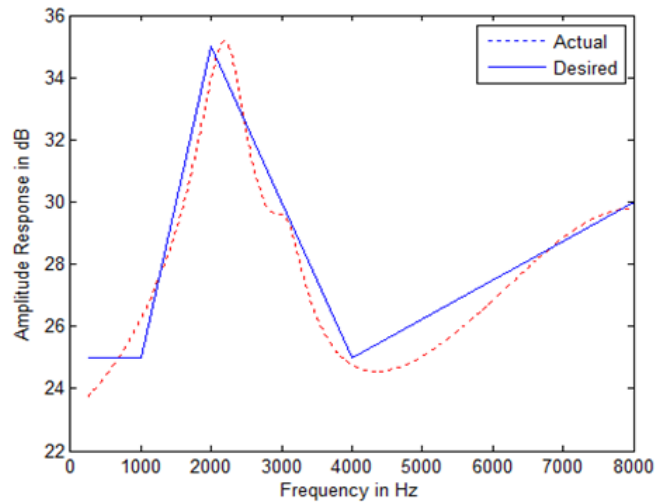
ภาพที่ 4.12 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 1 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Biquadratic ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.21dB

Audiogram 2



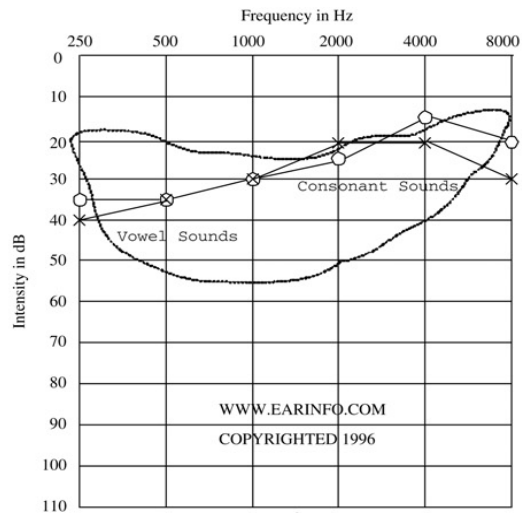
ภาพที่ 4.13 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียการได้ยินของแถบความถี่ทั้งหมด ซึ่งการสูญเสียนี้จะมีปัญหาในการได้ยินเสียงสระมากที่สุด และจะมีปัญหากับเสียงพยัญชนะในสถานะที่มีเสียงดัง

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



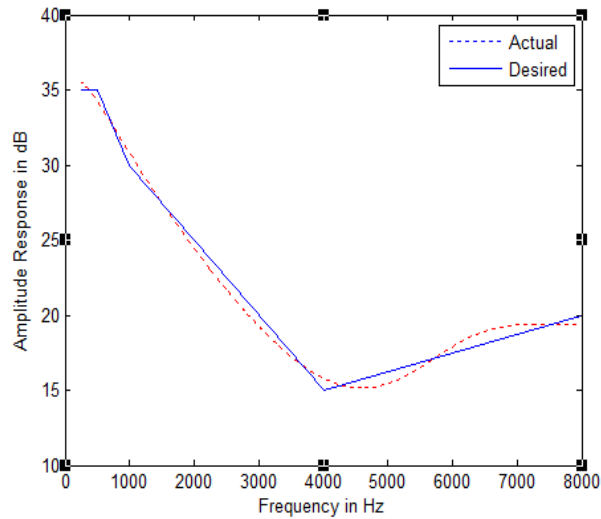
ภาพที่ 4.14 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 2 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Biquadratic ซึ่งหลังจากการทำกรหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.24 dB

Audiogram 3



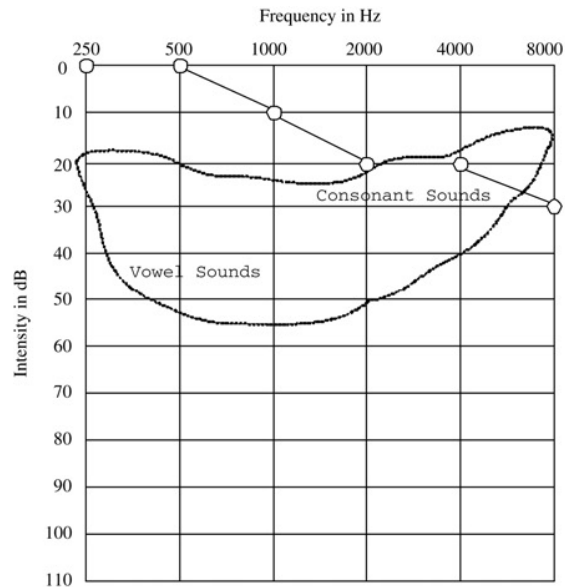
ภาพที่ 4.15 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียการได้ยินในระดับน้อยถึงปานกลางที่ความถี่ต่ำ และระดับการสูญเสียการได้ยินระดับน้อยที่ความถี่สูง ผลกระทบหลักจะเป็นการสูญเสียของเสียงดังโดยรวม เพราะไม่สามารถได้ยินเสียงสระส่วนใหญ่ ดังนั้นการสนทนาในระยะที่ใกล้จึงมีความจำเป็น

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



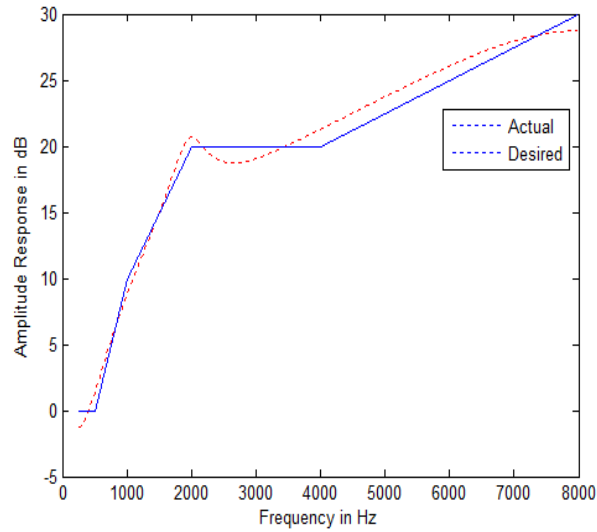
ภาพที่ 4.16 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 3 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Biquadratic ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.81 dB

Audiogram 4



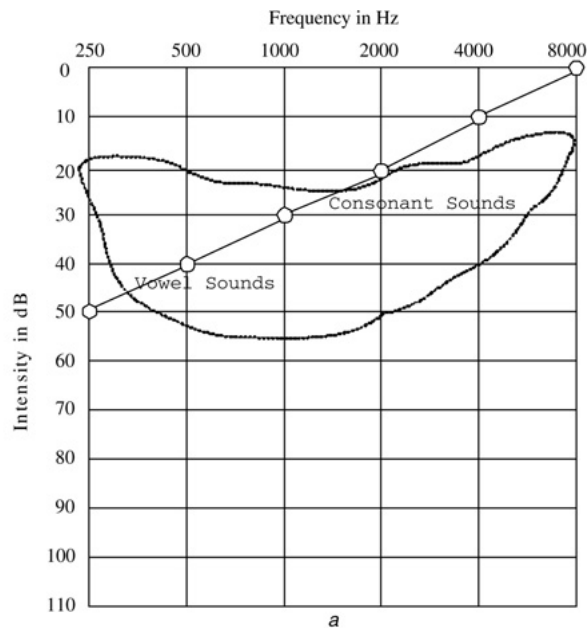
ภาพที่ 4.17 แสดงรูปแบบการได้ยินที่ถูกใช้ใน [2] ซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินในระดับน้อยที่ความถี่สูงและถูก เรียกว่าการสูญเสียแบบ ski slope

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

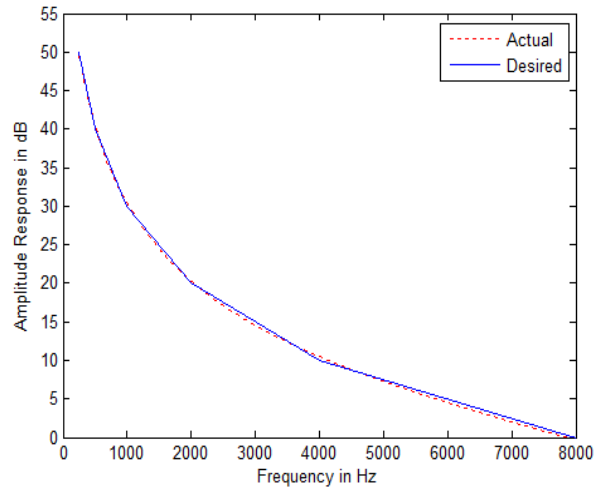


ภาพที่ 4.18 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 4 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_d(S)$ เป็นแบบ Biquadratic ซึ่งหลังจากการทำหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.27 dB

Audiogram 5



ภาพที่ 4.19 แสดงรูปแบบการได้ยินของการสูญเสียที่ย่านความถี่เดียวที่ความถี่สูง
ที่มา : T.-B. Deng, “Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids”, *IET Signal Processing*, vol. 4, pp. 181-196, 2010



ภาพที่ 4.20 แสดงผลของการ matching ของ audiogram 5 โดยใช้วงจรกรองที่ได้จาก $H_d(S)$ เป็นแบบ Biquadratic ซึ่งหลังจากการทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.49 dB

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดสูงสุดระหว่างการใช้ prototype แบบ chebyshev type I และ prototype แบบ biquadratic

	Error (dB)	
	Chebyshev	Biquadratic
Audiogram 1	1.89	1.21
Audiogram 2	2.61	1.24
Audiogram 3	2.88	0.81
Audiogram 4	5.22	1.28
Audiogram 5	1.15	0.49

ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยในการปรับอัตราขยาย สัมประสิทธิ์เทอมเศษและสัมประสิทธิ์เทอมส่วนของวงจรรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Chebyshev type I

Audiogram	Scaling factors		Numerator coefficients					Denominator coefficients				
			a0	a1	a2	a3	a4	b0	b1	b2	b3	b4
1	SL	-4.864	-1.729	-3.458	-1.729			1	0.895	0.382		
	SB	-314.103	-44.891	0	89.782	0	-44.891	1	0.583	0.465	0.228	0.280
	SH	2289.513	61.393	-122.786	61.393			1	1.408	0.580		
2	SL	19.716	0.041	0.082	0.041			1	-1.856	0.870		
	SB	-28.110	-0.127	0	0.255	0	-0.127	1	-2.508	3.361	-2.257	0.811
	SH	37.487	18.920	-37.839	18.920			1	-1.566	0.666		
3	SL	70.772	0.389	0.778	0.389			1	-1.758	0.793		
	SB	-9.064	-0.073	0	0.146	0	-0.073	1	-3.098	4.121	-2.684	0.752
	SH	11.489	6.866	-13.732	6.866			1	-1.911	0.916		
4	SL	0.470	0.001	0.002	0.001			1	-1.856	0.870		
	SB	-2.283	-0.053	0	0.107	0	-0.053	1	3.998	5.995	3.996	0.999
	SH	27.753	10.610	-21.219	10.610			1	-1.026	0.422		
5	SL	592.864	0.953	1.906	0.953			1	-1.874	0.885		
	SB	5.311	0.634	0	-1.267	0	0.634	1	-2.540	2.383	-1.148	0.304
	SH	1.828	0.889	-1.777	0.889			1	-1.491	0.623		

ตารางที่ 4.3 แสดงปัจจัยในการปรับอัตราขยาย สัมประสิทธิ์เทอมเศษและสัมประสิทธิ์เทอมส่วนของวงจรรองที่ได้จาก $H_a(S)$ เป็นแบบ Biquadratic

Audiogram	Scaling factors		Numerator coefficients			Denominator coefficients		
			a0	a1	a2	b0	b1	b2
1	SL	-3520.474	-0.004	-0.009	-0.004	1	-1.999	0.999
	SB	-49.365	-1.461	0	1.461	1	-1.289	0.941
	SH	1573.661	3.042	-6.084	3.042	1	11.147	17.880
2	SL	14.559	2.331	4.662	2.331	1	-1.157	0.797
	SB	10.424	0.812	0	-0.812	1	-0.658	0.844
	SH	30.835	8.451	-16.901	8.451	1	-0.548	-0.452
3	SL	-63.746	-2.727	-5.455	-2.727	1	-1.058	0.230
	SB	-0.215	-0.218	0	0.218	1	-0.022	-1.022
	SH	9.109	3.305	-6.611	3.305	1	2.869	3.321
4	SL	1.774	-0.028	-0.056	-0.028	1	-0.029	-1.033
	SB	6.631	-0.715	0	0.715	1	-1.578	1.216
	SH	27.290	-29.248	58.497	-29.248	1	0.870	-4.417
5	SL	754.274	1.018	2.036	1.018	1	-1.862	0.867
	SB	-4.980	-1.001	0	1.001	1	-2.036	1.200
	SH	0.965	1.022	-2.043	1.022	1	-2.036	1.200