สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ReCCIT
KMITL

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

การออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณเชิงเลขสำหรับการสื่อสาร

Digital Signal Processing Circuit Design for Communication

1. รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ
2. รศ.ดร.อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย
3. ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี
4. นายศรวัฒน์ ชิวปรีชา
5. นายสิรภพ ตู้ประกาย
6. นายสมปอง วิเศษพานิชกิจ

RCH
TK
7868.
.D5
ก529
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83636
วัน,เดือน,ปี 10 ก.ย. 2551

ห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรทางการสื่อสาร
โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน พ.ศ. 2549

Communication Circuit Design Laboratory
Research Center for Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

b 11981369
i

September 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology : ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549 วงเงินงบประมาณ 85,157 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปย่อ

วงจรกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์ที่นำเสนอจะให้ผลตอบสนองที่มีความสมมาตรและสามารถควบคุมอัตราขยายในย่านผ่านสัญญาณได้ นอกจากนั้นยังสามารถปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณได้โดยไม่ต้องทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณชุดใหม่ เพียงแค่ปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมคุณลักษณะของวงจรเท่านั้น โดยอาศัยการจัดฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองสัญญาณให้อยู่ในลักษณะของโครงสร้างแบบออลพาสแลตทิซ ส่งผลให้การทำงานของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขมีประสิทธิภาพมากขึ้นเทียบเคียงกับการทำงานของวงจรกรองสัญญาณเชิงอุปมานซึ่งสามารถควบคุมคุณลักษณะของวงจรได้ด้วยการควบคุมกระแส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การออกแบบวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์ด้วยวิธีการกำหนดตำแหน่งโพลและซีโร่ลงบนวงกลมหนึ่งหน่วยและสามารถปรับค่าความถี่หยุดได้โดยอาศัยโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณแบบออลพาสแลตทิช โดยได้ทำการกำหนดตำแหน่งของโพลใหม่ ซึ่งจะให้ผลตอบสนองทางขนาดที่มีลักษณะที่สมมาตรและกำหนดวิธีการหาค่าคงที่สำหรับการสเกลเพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณตามต้องการ ในส่วนของการปรับค่าความถี่หยุดจะสามารถปรับได้จากพารามิเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดค่าความถี่หยุดซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This report presents a design of IIR notch filter using pole-zero placement method on unit circle and is able to tuned the notch frequency. The filter realization is based on all-pass lattice structure. Moreover, this paper proposes to improve the pole position from old design technique in order to get the symmetry and can determine the pass-band gain by computing the scaling constant which is used to control the pass-band gain to meet the specifications. For tunable notch frequency is able to tune from the given parameter used for determining the notch frequency which results in changing of filter coefficients.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ I

บทสรุปย่อ II

บทคัดย่อ III

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 การปรับปรุงตำแหน่งโพล 2

บทที่ 3 การปรับค่าความถี่หยุดโดยอาศัยโครงสร้างแบบออลพาสแลตทิซ 5

บทที่ 4 ผลการเลียนแบบการทำงาน 8

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 13

บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปกติการออกแบบวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผล ตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์จะใช้วิธีการวางซีโร่ไว้บนเส้นรอบวงของวงกลมหนึ่งหน่วยและวางโพลไว้ในแนวเส้นรัศมีเดียวกันกับซีโร่ ผลที่ได้จากการออก แบบในลักษณะนี้ [1-2] จะส่งผลให้ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้ไม่มีความสมมาตรคือค่าอัตราขยายของย่านผ่านสัญญาณทั้งสองข้างจะไม่เท่ากัน และไม่สามารถกำหนดอัตราขยายในย่านผ่านสัญญาณได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงนำเสนอวิธีการกำหนดตำแหน่งของโพลใหม่ซึ่งจะให้ผลตอบ สนองทางขนาดที่มีความสมมาตรและสามารถควบคุมอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณได้ นอกจากนั้นยังได้นำเสนอวิธีการปรับค่าความถี่หยุด (Tunable Notch Frequency) ซึ่งโดยปกติแล้วในการเปลี่ยนค่าความถี่หยุดจะต้องทำการออกแบบจากข้อกำหนดของวงจรใหม่เนื่อง จากต้องทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณชุดใหม่ขึ้นมาแทนสัมประสิทธิ์ชุดใหม่ แต่ในที่นี้การปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ตามข้อกำหนดของค่าความถี่หยุดค่าใหม่จะใช้วิธีการปรับจากพารามิเตอร์ซึ่งใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณโดยตรง ไม่ต้องทำการออกแบบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ชุดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การปรับปรุงตำแหน่งโพล

ปกติการออกแบบวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์จะทำการวาง ซีโร่ไว้บนเส้นรอบวงของวงกลมหนึ่งหน่วยและวางโพลในแนวเส้นรัศมีเดียวกันกับซีโร่ โดยรัศมีของโพลต้องมีขนาดน้อยกว่าหนึ่งเพื่อความมีเสถียรภาพของระบบ ค่ามุมของซีโร่ (ω_0) เมื่อเทียบกับแกนจริงของระนาบแซดจะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่หยุด (Notch Frequency) และค่าความกว้างของแถบหยุดสัญญาณ (Bandwidth) จะกำหนดจากความยาวของรัศมีโพล (r) โดยถ้าโพลมีรัศมีเข้าใกล้หนึ่งความกว้างของแถบหยุดสัญญาณก็จะมีลักษณะที่แคบ

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์โดยทั่วไปสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$H(z)=\frac{(z-e^{-j\omega_0})(z-e^{j\omega_0})}{(z-re^{j\omega_p})(z-re^{-j\omega_p})} \qquad (2.1)$$

ซึ่งสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

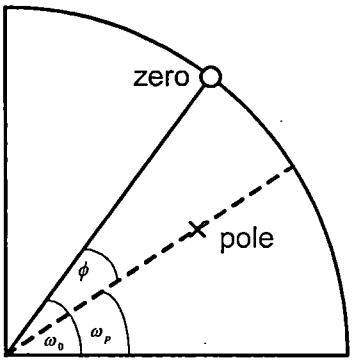
$$H(z)=\frac{1-2\cos\omega_0\, z^{-1}+z^{-2}}{1-2r\cos\omega_p\, z^{-1}+r^2\, z^{-2}} \qquad (2.2)$$

สมการที่ (2.2) นี้จัดเป็นสมการที่มาของวงจรกรองสัญญาณแบบนอตช์โดยทั่วไป โดยการออกแบบในลักษณะเก่า [1-2] ดังที่กล่าวมาแล้วคือจะมีการกำหนดให้ $\omega_p=\omega_0$ ซึ่งจะส่งให้เกิดความไม่สมมาตรในผลตอบสนองทางขนาดขึ้นแล้วจะให้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็นดังสมการที่ (2.3)

$$H(z)=\frac{1-2\cos\omega_0\, z^{-1}+z^{-2}}{1-2r\cos\omega_0\, z^{-1}+r^2\, z^{-2}} \qquad (2.3)$$

ดังนั้นในการปรับปรุงผลตอบสนองทางขนาดให้มีความสมมาตรจำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงในส่วนของตำแหน่งของโพล ส่วนตำแหน่งของซีโร่ยังคงอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมเนื่องจากซีโร่เป็นตัวกำหนดค่าความถี่หยุด รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของตำแหน่งโพลที่ควรถูกปรับเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของโพลที่ถูกเปลี่ยนแปลงไป

จากรูปที่ 2.1 และจากสมการที่ (2.2) สามารถกำหนดฟังก์ชั่นถ่ายโอนขึ้นมาใหม่ได้ดังนี้

$$H(z) = \frac{1 - 2\cos\omega_0\, z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(\omega_0 - \phi)\, z^{-1} + r^2\, z^{-2}} \tag{2.4}$$

ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณสามารถหาได้โดยแทน $z = e^{j\omega}$ ในสมการที่(2.4) ดังนี้

$$H(e^{j\omega}) = \frac{1 - 2\cos\omega_0\, e^{-j\omega} + e^{-j2\omega}}{1 - 2r\cos(\omega_0 - \phi)\, e^{-j\omega} + r^2\, e^{-j2\omega}} \tag{2.5}$$

ในการที่จะทำให้อัตราขยายในย่านผ่านสัญญาณมีความสมมาตรกันหมายความว่าอัตราขยายที่ความถี่ศูนย์ (DC) จะต้องเท่ากับอัตราขยายที่ความถี่ π [3-4] ดังนั้นเงื่อนไขที่สำคัญสำหรับคำนวณหาค่าของมุมโพลที่เหมาะสมคือ

$$H(e^{j0}) = H(e^{j\pi}) \tag{2.6}$$

จากนั้นทำการแทนค่าลงในสมการที่(2.6) แล้วจัดรูปสมการจะได้ดังนี้

$$\frac{1 - 2\cos\omega_0 + 1}{1 - 2r\cos(\omega_0 - \phi) + r^2} = \frac{1 + 2\cos\omega_0 + 1}{1 + 2r\cos(\omega_0 - \phi) + r^2}$$

$$2r\cos(\omega_0 - \phi) = 1 + r^2\cos\omega_0$$

$$\therefore \quad \omega_0 - \phi = \cos^{-1}\left[\frac{1 + r^2}{2r}\cos\omega_0\right] \tag{2.7}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.4) เมื่อทำการแทนค่า $\omega_p = \omega_0 - \phi$ ตามสมการที่ (2.7) ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จะมีความสมมาตรเกิดขึ้นแต่ก็ยังไม่สามารถกำหนดค่าอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณได้ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าคงที่สำหรับการสเกล (k) เพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณ โดยปรับปรุงฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการที่ (2.4) ให้เป็นดังนี้

$$H(z) = k\frac{1-2\cos\omega_0\, z^{-1}+z^{-2}}{1-2r\cos(\omega_0-\phi)\, z^{-1}+r^2\, z^{-2}} \tag{2.8}$$

เนื่องจากผลตอบสนองทางขนาดที่ได้มีความสมมาตรเรียบร้อยแล้วดังนั้นขนาดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ $\omega = 0$ จึงเท่ากับขนาดของฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ $\omega = \pi$ โดยกำหนดให้อัตราขยายในย่านผ่านสัญญาณมีค่าเป็นหนึ่ง (Normalized pass-band gain) จะได้ว่า

$$\left|H(e^{j0})\right| = \left|H(e^{j\pi})\right| = 1 = k\frac{2-2\cos(\omega_0)}{1-2r\cos(\omega_p)+r^2}$$

$$\therefore\quad k = \frac{1-2r\cos(\omega_p)+r^2}{2-2\cos(\omega_0)} \tag{2.9}$$

ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังสมการที่ (2.8) โดยอาศัยสมการที่ (2.7) และ (2.9) ประกอบ จะทำให้ได้วงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์ที่มีความสมมาตรและกำหนดอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การปรับค่าความถี่หยุดโดยอาศัยโครงสร้างแบบออลพาสแลตทิช

ในการเปลี่ยนค่าความถี่หยุดของวงจรกรองสัญญาณนั้นปกติจะต้องทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองชุดใหม่แล้วแทนลงไปในฟังก์ชั่นถ่ายโอนโดยอาศัยสมการที่ (2.7)-(2.9) แต่ในบทความนี้จะใช้วิธีการปรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสำหรับการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวงจร โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงกับค่าสัมประสิทธิ์ของตัววงจรกรองสัญญาณเอง ทั้งนี้ได้อาศัยการจัดรูปแบบของฟังก์ชั่นถ่ายโอนให้มีลักษณะเป็นแบบฟังก์ชั่นถ่ายโอนผ่านตลอดหรือออลพาส (All-Pass Transfer Function) โดยนิยามของฟังก์ชั่นถ่ายโอนผ่านตลอดอันดับที่ N^{th} ใดๆ เป็นดังนี้ [5]

$$A(z)=\frac{d_N+d_{N-1}z^{-1}+\cdots+d_1z^{-N+1}+z^{-N}}{1+d_1z^{-1}+\cdots+d_{N-1}z^{-N+1}+d_Nz^{-N}} \tag{3.1}$$

กำหนดให้ $D(z)$ เป็นสมการพหุนามในเทอมส่วน (Denominator)ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังสมการที่ (3.1) จะได้ว่า

$$A(z)=\frac{z^{-N}D(z^{-1})}{D(z)} \tag{3.2}$$

ซึ่งจากสมการที่ (3.1) และ (3.2) จะเห็นได้ว่าถ้า $z=re^{j\theta}$ เป็นโพลของฟังก์ชั่นถ่ายโอนออลพาสที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าจริงแล้วจะทำให้มีซีโร่ที่ $z=(1/r)e^{-j\theta}$ ดังนั้นจะทำให้สมการพหุนามในเทอมเศษ (Numerator) ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน $A(z)$ มีลักษณะที่เรียกว่าเป็นสมการพหุนามภาพสะท้อน (Mirror-Image polynomial) ของสมการพหุนามเทอมส่วน ส่วนคุณสมบัติอีกข้อหนึ่งที่สำคัญของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบออลพาส แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}|A(z)|^2&=|A(e^{j\omega})|^2=A(e^{j\omega})A(e^{-j\omega})\\ \therefore\ |A(z)|^2&=1\end{aligned} \tag{3.3}$$

สรุปคุณลักษณะที่สำคัญของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบออลพาสที่สำคัญคือผลตอบสนองทางขนาดมีค่าเท่ากับหนึ่งทุกความถี่และมีลักษณะเป็นสมการพหุนามสะท้อนภาพ

ลักษณะของโครงสร้างที่นำเสนอจะทำการจัดฟังก์ชั่นถ่ายโอนตามสมการที่ (2.8) ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบออลพาสเป็นหลัก โดยเริ่มพิจารณาจากค่าคงที่สำหรับการสเกล (k) จากสมการที่(2.9) โดยอาศัยสมการที่ (2.7) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k = \frac{1 - 2r\left(\frac{1+r^2}{2r}\cos\omega_0\right) + r^2}{2(1-\cos\omega_0)}$$

$$= \frac{(1-\cos\omega_0) + r^2(1-\cos\omega_0)}{2(1-\cos\omega_0)}$$

$$\therefore \quad k = \frac{1}{2} + \frac{r^2}{2} = \frac{1+r^2}{2} \tag{3.4}$$

เพราะฉะนั้นฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการที่ (2.8) สามารถจัดรูปใหม่ โดยอาศัยสมการที่ (2.7) และ (3.4) ได้ดังนี้

$$H(z) = \frac{1+r^2}{2} \times \frac{1 - 2\cos\omega_0\, z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\left(\frac{1+r^2}{2r}\cos\omega_0\right) z^{-1} + r^2 z^{-2}}$$

$$= \frac{\frac{(1+r^2)}{2} - (1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + \frac{(1+r^2)}{2} z^{-2}}{1 - (1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + r^2 z^{-2}}$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{(1+r^2) - 2(1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + (1+r^2) z^{-2}}{1 - (1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + r^2 z^{-2}}\right]$$

$$\therefore H(z) = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{r^2 - (1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + z^{-2}}{1 - (1+r^2)\cos\omega_0\, z^{-1} + r^2 z^{-2}}\right] \tag{3.5}$$

จากสมการที่ (3.5) จะเห็นได้ว่ามีเทอมที่มีลักษณะเป็นสมการพหุนามสะท้อนภาพอยู่ ดังนั้นสามารถจัดรูปแบบฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์ให้มีลักษณะเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบออลพาสได้ คือ

$$H(z) = \frac{1}{2}\left[1 + A(z)\right] \tag{3.6}$$

และกำหนดให้ $\beta = -\cos\omega_0$ และ $\alpha = r^2$ จะได้ว่า

$$A(z) = \frac{\alpha + \beta(1+\alpha) z^{-1} + z^{-2}}{1 + \beta(1+\alpha) z^{-1} + \alpha z^{-2}} \tag{3.7}$$

ค่าพารามิเตอร์ β จะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่หยุดดังนั้นในการปรับค่าความถี่หยุดจะใช้วิธีการปรับจากค่าพารามิ- เตอร์ β นี้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ α ซึ่งสัมพันธ์กับค่ารัศมีของโพล (r) ดังนั้นพารามิเตอร์ α นี้จะเป็น

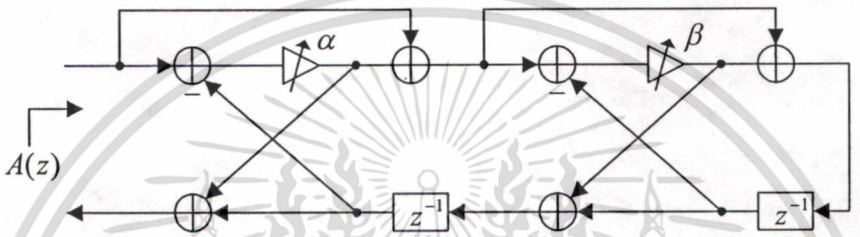
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวกำหนดค่าความกว้างของแถบหยุดสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกว้างของแถบหยุดสัญญาณ ($\Delta\omega$) กับค่ารัศมีของโพล [2] สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

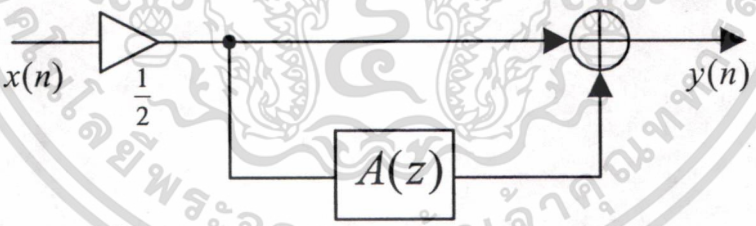
$$\Delta\omega = 2(1-r) \tag{3.8}$$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนออลพาสตามสมการที่ (3.7) จะถูกนำมาจัดโครงสร้างโดยใช้โครงสร้างแบบแลตทิซ (Lattice Structure) [2] ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบออลพาสแลตทิซ

ดังนั้นโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์ที่สามารถปรับค่าความถี่หยุดได้ที่สมบูรณ์ตามฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการที่ (3.8) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

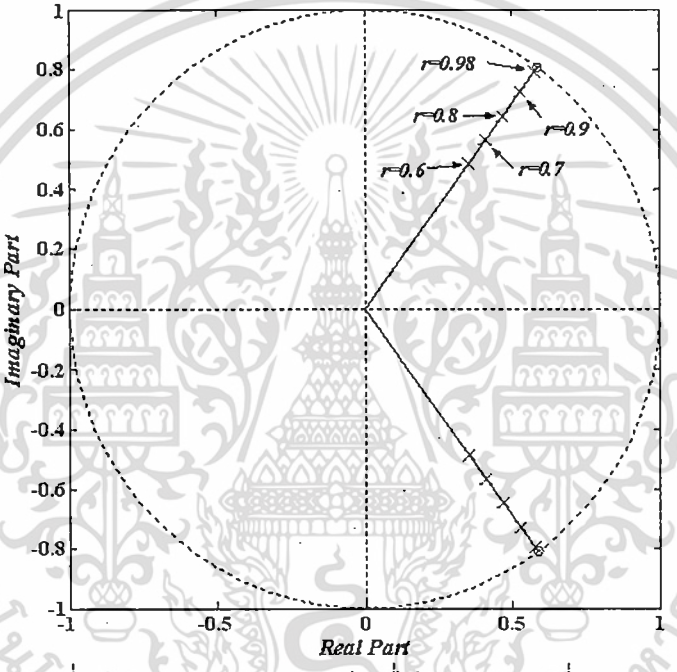


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณที่นำเสนอ

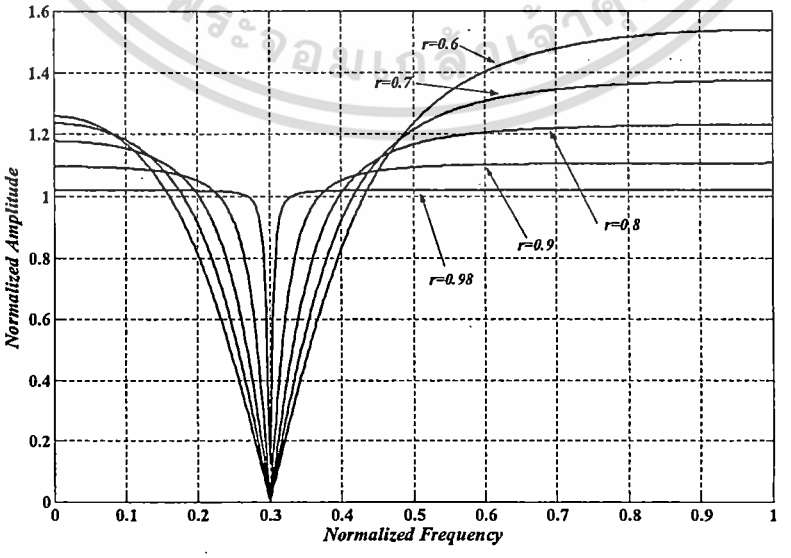
83636
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการเลียนแบบการทำงาน

ในการจำลองการทำงานจะเริ่มตั้งแต่การออกแบบโดยใช้วิธีการออกแบบแบบเก่าโดยวางโพลไว้ในแนวเดียวกับเส้นรัศมีของซีโร่ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการที่ (2.3) โดยกำหนดค่าความถี่หยุดไว้ที่ $\omega_0 = 0.3\pi$ แล้วทำการกำหนดค่ารัศมีของโพลไว้ที่ $r = 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ และ 0.98 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และผลตอบสนองทางขนาด ดังในรูปที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ที่ได้จากสมการที่ (2.3)

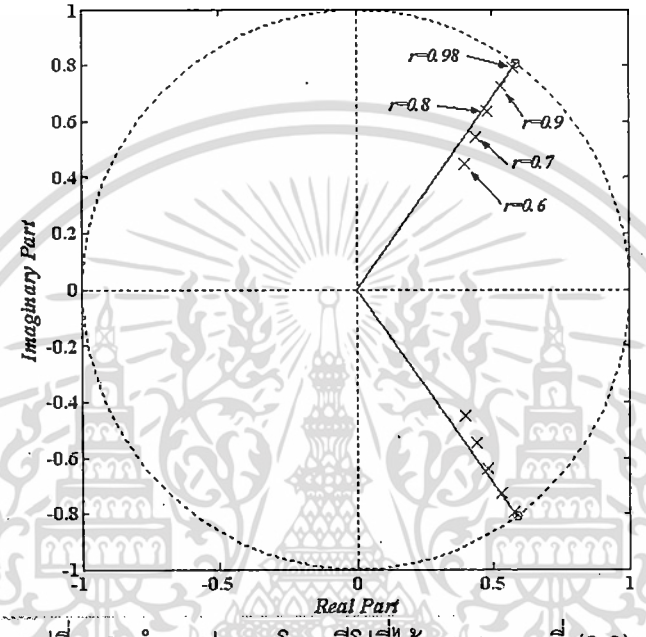


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากสมการที่ (2.3)

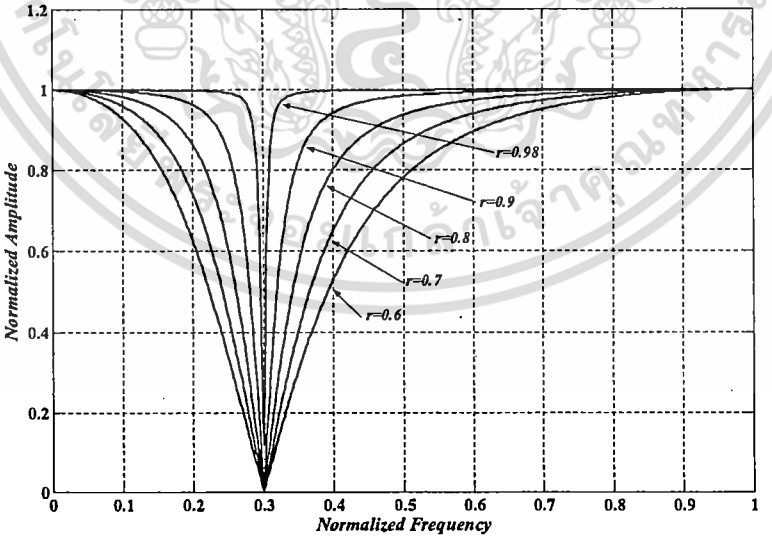
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าวิธีการออกแบบแบบเก่าซึ่งวางโพลไว้ในแนวเดียวกับรัศมีของซีโร่จะให้ผล ตอบสนองที่ไม่มีความสมมาตรและไม่สามารถควบคุมอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณได้

จากนั้นทำการจำลองการทำงานในส่วนของการปรับ ปรุงตำแหน่งของโพลใหม่โดยค่ามุมของโพลที่เหมาะสมสามารถหาได้จากสมการที่ (2.7) และควบคุมอัตราการขยายในย่านผ่านสัญญาณโดยสมการที่ (2.9) โดยมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนดังสมการที่ (2.8) และกำหนดเงื่อนไขต่างๆดังเช่นกรณีที่ผ่านมา จะได้ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และผลตอบสนองทางขนาด ดังในรูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ที่ได้จากสมการที่ (2.8)

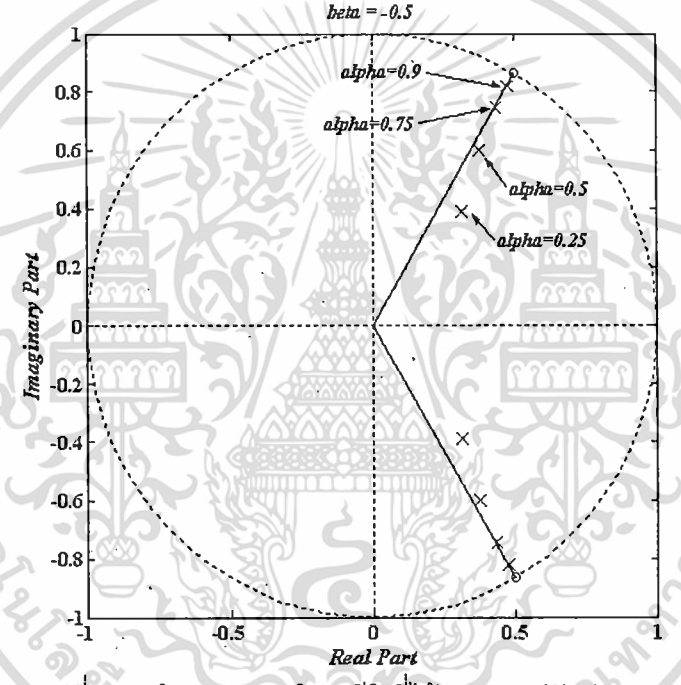


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากสมการที่ (2.8)

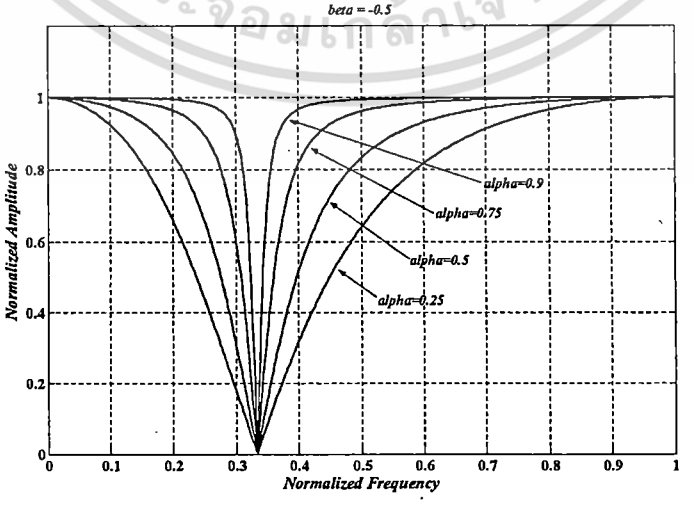
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของโพลจะไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกับเส้นรัศมีของซีโร่ โดยจะเห็นได้ชัดถ้าค่ารัศมีของโพลมีค่าน้อย ซึ่งส่งผลให้ผลตอบสนองทางขนาดมีลักษณะที่สมมาตรและสามารถควบคุมอัตราการขยายให้มีค่าเท่ากับหนึ่งได้ไม่ว่ารัศมีของโพลจะมีค่าเป็นเท่าไหร่ก็ตาม

ส่วนต่อไปเป็นการจำลองการทำงานในส่วนของวงจรกรองสัญญาณที่ใช้โครงสร้างแบบออลพาสแลตทิซซึ่งทำให้สามารถปรับค่าความกว้างของแถบหยุดสัญญาณได้ด้วยการปรับพารามิเตอร์ α และปรับค่าความถี่หยุดได้ด้วยการปรับพารามิเตอร์ β โดยใช้สมการที่ (3.5) และ (3.6) และโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณเป็นไปตามรูปที่ 2 และ 3 โดยในการทดลองปรับพารามิเตอร์ α ให้มีค่าเท่ากับ 0.25, 0.5, 0.75 และ 0.9 ตามลำดับ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ β เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ -0.5 จะได้ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และผลตอบสนองทางขนาด ดังในรูปที่ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ที่ได้จากการปรับค่า α



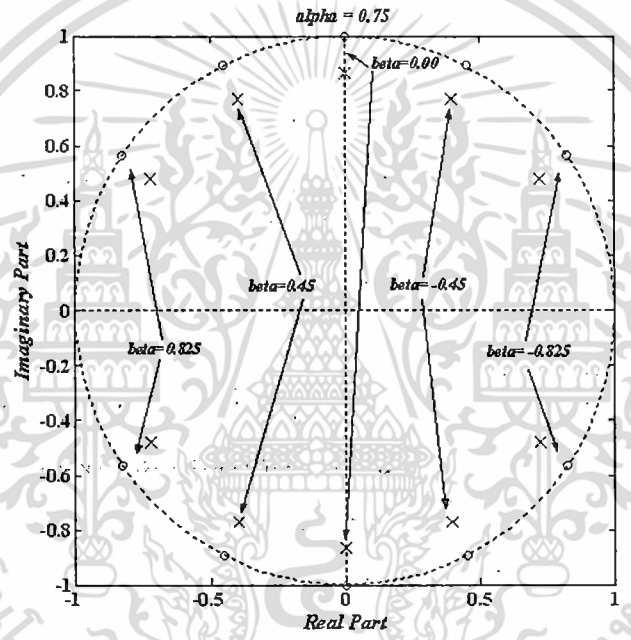
รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากการปรับค่า α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

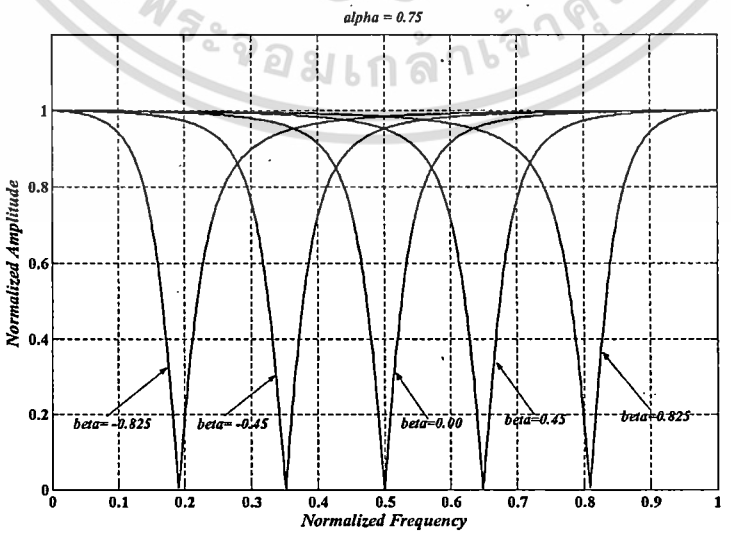
จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าการปรับค่าของพารามิเตอร์ α จะส่งผลโดยตรงกับค่าความกว้างของแถบหยุดสัญญาณ เนื่องจากค่า α นี้มีความสัมพันธ์กับค่าความยาวรัศมีของโพลดังได้กล่าวมาแล้ว

สุดท้ายทดลองปรับพารามิเตอร์ β โดยให้มีค่าเท่ากับ -0.875, -0.45, 0.00, 0.45 และ 0.875 ตามลำดับ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ α เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.75 จะได้ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และผลตอบสนองทางขนาด ดังในรูปที่ 4.8 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ β จะส่งผลให้ตำแหน่งของโพลและซีโร่เกิดการเคลื่อนตัวไปตามค่าพารามิเตอร์ β ที่เปลี่ยนไปทำให้สามารถปรับค่าความถี่หยุดของวงจรกรองสัญญาณได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ β นี้



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งของโพล-ซีโร่ที่ได้จากการปรับค่า β



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากการปรับค่า β

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากโครงสร้างออลพาสแลตทิซที่นำเสนอจะทำให้สามารถปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์ได้ โดยไม่ต้องทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณชุดใหม่ เพียงแค่ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ α และ β ดังกล่าวก็สามารถที่จะปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณได้โดยตรง ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้จะส่งผลโดยตรงกับการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณโดยอัตโนมัติ ในทางปฏิบัติถ้าทำการสร้างวงจรกรองสัญญาณให้เป็นฮาร์ดแวร์หรือใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการประมวลผล สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ด้วยการกำหนดค่าจากภายนอกผ่านทางดิพสวิทช์ (Dip Switch) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

วงจรกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์ที่นำเสนอจะให้ผลตอบสนองที่มีความสมมาตรและสามารถควบคุมอัตราขยายในย่านผ่านสัญญาณได้ นอกจากนั้นยังสามารถปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวงจรกรองสัญญาณได้โดยไม่ต้องทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณชุดใหม่ เพียงแค่ปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมคุณลักษณะของวงจรเท่านั้น โดยอาศัยการจัดฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองสัญญาณให้อยู่ในลักษณะของโครงสร้างแบบออลพาสแลตทิซ ส่งผลให้การทำงานของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขมีประสิทธิภาพมากขึ้นเทียบเคียงกับการทำงานของวงจรกรองสัญญาณเชิงอุปมานซึ่งสามารถควบคุมคุณลักษณะของวงจรได้ด้วยการควบคุมกระแส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
เอกสารอ้างอิง

[1] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, "Digital Signal Processing Principle, Algorithm and Applications," Prentice-Hall, 1996.

[2] S. J. Orfanidis, "Introduction to Signal Processing," Prentice Hall, 1996.

[3] C. C. Tseng and S. C. Pei, "Stable IIR Notch Filter Design with Optimal Pole Placement," IEEE Trans. Signal Processing., Vol. 49, No. 11, pp. 2673-2681, November 2001.

[4] S. Yimman, W. Hinjit, S. Sriboonsong, M. Puangpool and K. Dejhan, "IIR Notch Filter Design with Modified Pole-Zero Placement Algorithm," Proc. IEEE Int. Symp. Signal Processing and Information Technology (ISSPIT 2003), Darmstadt, Germany, December 2003.

[5] P. A. Regalia, S. K. Mitra and P. P. Vaidyanathan, "The Digital All-Pass Filter: A Versatile Signal Processing Building Block," Proc. IEEE, Vol. 76, No. 1, January 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้