

การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยใช้เทคนิคโพลีโนเมียลแบบเบิร์นสไตน์

The design of crossover network by using Bernstein polynomials technique

ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์¹ กนก เจนจิระพงศ์เวช¹ เตือนใจ อาชีวะพนิช^{2*}

และวันวิสา ชัชวงษ์³

Pongpan Rattanathanawan¹, Kanok Janchitrapongvej¹, Tuanjai Archevapanich^{2*}

and Vanvisa Chutchavong³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยใช้วงจรกรองความถี่ด้วยเทคนิคโพลีโนเมียลแบบเบิร์นสไตน์ ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการปรับลักษณะของวงจรกรองความถี่ให้มีความราบเรียบที่สุด โดยสามารถควบคุมคุณลักษณะทางขนาดและเฟสมีความเป็นเชิงเส้น โดยในบทความนี้ใช้พารามิเตอร์ 3 ตัวในการควบคุม คือ n K และ ε ซึ่งมีการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB ผลจากการทดลองพบว่า การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยใช้วงจรกรองความถี่เทคนิคนี้สามารถแยกสัญญาณความถี่ต่างๆ เพื่อให้ลำโพงสามารถตอบสนองต่อความถี่แต่ละย่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โพลีโนเมียลแบบเบิร์นสไตน์ วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก เฟสเชิงเส้น

Abstract

This paper presents the design of crossover network based on Bernstein polynomials. As it is known, the Bernstein polynomials filter has flexible parameters to adjust the circuit performance for the best results. For example, it has maximally flat magnitude response and linear phase. Herein, the design of crossover network in this paper utilized three parameters (n , K and ε). Simulation results are carrying out by using MATLAB. As the result, the proposed crossover network is also efficiently to separate the appropriated frequency response through the loudspeaker systems.

Keywords: Bernstein polynomial, crossover network, linear phase

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก กรุงเทพฯ 10260

¹ Faculty of Science And Technology, Southeast Bankok College, Bangkok 10260, Thailand

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

² Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvannabhumi, Nonthaburi 11000, Thailand

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

* Corresponding author. E-mail: tuanjai.theta@gmail.com

บทนำ

โดยปกติการออกแบบวงจรของความถี่แอนาล็อก คุณสมบัติที่ต้องการอย่างมากคือการมีเฟสเป็นเชิงเส้น (linear phase) ส่วนใหญ่จะแก้ปัญหาการมีเฟสไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวด้วยทฤษฎีการประมาณค่าแบบเบสเซลทอมสัน (Bessel-Thomson) (Chen, 1986; Schaumann and Van Valkenburg, 2001) เนื่องจากมีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นทั้งวงจรของความถี่ต่ำผ่าน และวงจรของความถี่สูงผ่าน พร้อมกับมีผลตอบสนองทางขนาดค่อนข้างดี แต่ยังมีข้อเสียคือช่วงความถี่เปลี่ยนไม่ชัน เมื่อเทียบกับบัตเตอร์เวิร์ท และที่สำคัญเมื่อนำไปใช้เป็นวงจรของความถี่แถบผ่านผลตอบสนองบางช่วงความถี่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอทฤษฎีการประมาณค่าด้วยเทคนิคโพลีโนเมียลแบบแบบเบิร์นสไตน์ (Ashley, 1984; Lorentz, 1986; Baez-Lopez, 1991; Chutchavong *et al.*, 2013) ในการออกแบบวงจรของความถี่แอนาล็อกซึ่งมีลักษณะเด่นในการออกแบบ คือผลตอบสนองทางขนาดของวงจรของความถี่ต่ำผ่าน และวงจรของความถี่สูงผ่านความราบเรียบที่สุด (maximally flat) สามารถปรับสโลปช่วงความถี่เปลี่ยน ปรับช่วงการลดทอนของช่วงความถี่หยุด มีเฟสเป็นเชิงเส้น และที่สำคัญมีเฟสเป็นเชิงเส้นในวงจรของความถี่ผ่านแถบด้วย มีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงเฟส โดยใช้พารามิเตอร์ 3 ตัวในการควบคุม คือ n K และ ε

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ก คือ วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณความถี่เสียงทางด้านขาเข้า

ของระบบออกเป็นช่วงๆ ที่มีความถี่ต่างๆ กัน โดยที่แต่ละช่วงความถี่ที่แยกออกมานั้นจะถูกส่งออกไปยังภาคขยายสัญญาณแต่ละช่วงความถี่แล้วส่งออกสู่ลำโพง เนื่องจากการใช้ลำโพงเพียงตัวเดียวนั้นไม่สามารถให้ผลการตอบสนองทางความถี่ได้ครบตลอดย่านความถี่เสียง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ต้องมีวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กเป็นตัวแยกสัญญาณความถี่ต่างๆ เพื่อให้ลำโพงสามารถตอบสนองต่อความถี่แต่ละย่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กที่ใช้จะมีทั้งแบบ 2 ทาง และแบบ 3 ทางที่ใช้หากเป็นระบบ 2 ทางจะประกอบด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำและตัวกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำจะยอมให้เสียงที่มีความถี่ต่ำหรือเสียงทุ้มผ่านเข้าลำโพงเท่านั้น ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำจะกำหนดช่วงความถี่ที่เสียงทุ้มผ่านไปได้โดยจะกันไม่ให้ความถี่เสียงที่มีค่าความถี่สูงเกินค่าๆ หนึ่งผ่านเข้าลำโพงเสียงทุ้มเด็ดขาด และตัวกรองสัญญาณความถี่สูงจะยอมให้เสียงที่มีความถี่สูงหรือเสียงแหลมผ่านเข้าลำโพงเท่านั้นซึ่งตัวกรองสัญญาณความถี่สูงก็จะกำหนดช่วงความถี่ที่เสียงแหลมผ่านไปได้โดยจะกันไม่ให้ความถี่เสียงที่มีค่าความถี่ต่ำกว่าค่าๆ หนึ่งผ่านเข้าลำโพงเสียงแหลมเด็ดขาดเช่นกัน ในกรณีที่ระบบ 3 ทาง จะประกอบด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ตัวกรองสัญญาณความถี่สูง และตัวกรองสัญญาณแถบความถี่ แสดงดัง (Figure 1) โดยที่ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำและตัวกรองสัญญาณความถี่สูงจะมีคุณสมบัติเหมือนกับระบบ 2 ทาง ส่วนตัวกรองสัญญาณแถบความถี่นั้นจะยอมให้เสียงที่มีระดับปานกลาง ไม่ทุ้มหรือแหลมผ่าน ในขณะที่ตัวกรองสัญญาณ

แถบความถี่จะกำหนดว่า กรณีสี่ช่วงความถี่ที่สูงกว่าค่าๆ หนึ่ง หรือความถี่ที่ต่ำกว่าค่าๆ หนึ่ง จะกันไว้ไม่ยอมให้ออกลำโพงเสียงกลางได้ โดยการเพิ่มตัวกรองสัญญาณแถบความถี่ขึ้นจะช่วยให้การเปลี่ยนการ

ทำงานจากลำโพงตัวหนึ่งไปยังอีกลำโพงตัวหนึ่งทำงานเป็นไปอย่างนุ่มนวล ไม่เกิดการสะดุด ฟังดูแล้วเป็นธรรมชาติมากขึ้น

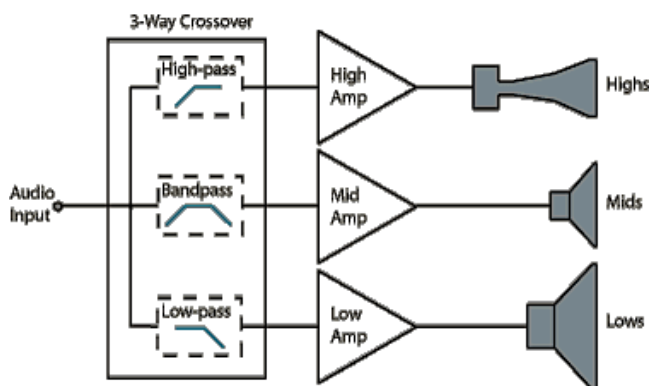


Figure 1 Three cross over network.

การออกแบบวงจรกรองความถี่แอนาล็อกโดยใช้สมการโพลิโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์

สมการโพลิโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์เกิดขึ้นจากทฤษฎีการประมาณที่มีรูปฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง ($f(x)$) ในช่วงปิดที่ $[0,1]$ สมการโพลิโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์อันดับที่ $n \geq 1$ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$B_n(f; x) = \sum_{i=0}^n f\left(\frac{i}{n}\right) \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \quad (1)$$

เมื่อ n คืออันดับ $i = 0, 1, \dots, n$ และ $\binom{n}{i} = \frac{n!}{(n-i)!i!}$

เมื่อพิจารณาฟังก์ชัน $f(x)$ ในที่นี้ทำการประมาณฟังก์ชันให้เป็นแบบความถี่ต่ำผ่านมีขอบเขตอยู่ที่ $[0,1]$ เพราะฉะนั้นฟังก์ชัน $f\left(\frac{i}{n}\right)$ จึงมีค่าไม่เกิน n แสดงดัง (Figure 2)

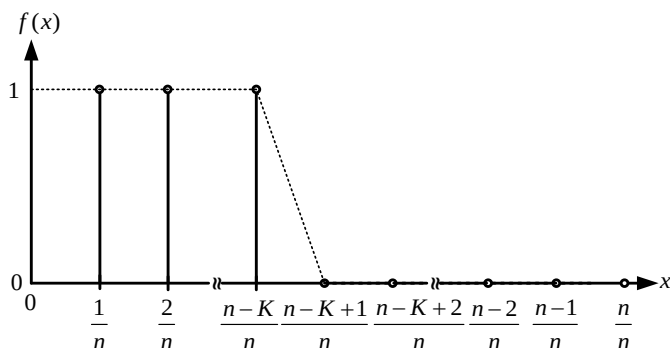


Figure 2 Discrete low pass filter function.

ดังนั้นเขียนฟังก์ชันการประมาณความถี่ต่ำผ่านได้เป็น

$$f\left(\frac{i}{n}\right) = \begin{cases} 1, & 0 \leq i \leq n-K \\ 0, & n-K+1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ K คือจำนวนจุดที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาที่ทำให้ฟังก์ชันการประมาณมีค่าเป็นศูนย์แทนสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$B_{n,K}(f; x) = \sum_{i=0}^{n-K} \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังสมการ

$$B_{n,K}(f; x) = (1-x)^K \sum_{i=0}^{n-K} \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i-K} \quad (4)$$

ทำการแปลง (transformation) x จากช่วง $[0,1]$ ให้เป็น ω มีช่วงหรือขอบเขตอยู่ที่ $[0, \infty]$

$$x = \frac{\omega^2}{1 + \omega^2} \quad (5)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) แทนด้วย $N(s)$ สามารถหาได้จากคุณลักษณะทางขนาดยกกำลังสอง (magnitude-squared characteristics) แทนด้วย $|N(s)|^2$ แสดงดังสมการที่ (6) เมื่อแทน $s = j\omega$

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2}{1 + \varepsilon^2 B_{n,K}^2(f, \omega)} \quad (6)$$

เพราะฉะนั้นในที่นี้จะเริ่มหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากคุณลักษณะทางขนาดยกกำลังสองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass magnitude-squared

characteristics) เพราะสามารถทำการแปลงเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆ ได้ด้วยวิธีการแปลงความถี่ (frequency transformation) แสดงดังสมการ

โดยที่ $B(\omega)$ คือ เบิร์นสไตน์โพลีโนเมียลในสมการที่ (4) โดยแทน x ในสมการที่ (5) จากนั้นนำไปแทนลงในสมการที่ (6) จะได้

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2}{1 + \varepsilon^2 \left[\frac{\sum_{i=0}^{n-K} \binom{n}{i} \left(\frac{1}{\omega}\right)^{2i}}{\left(1 + \frac{1}{\omega^2}\right)^n} \right]^2} \quad (7)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$|N(j\omega)|^2 = \frac{H_0^2 \cdot (1 + \omega^2)^{2n}}{(1 + \omega^2)^{2n} + \varepsilon^2 \omega^{4n} \left(\sum_{i=0}^{n-K} \binom{n}{i} \left(\frac{1}{\omega}\right)^{2i} \right)^2} \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) หาค่าโพล (poles) และซีโร่ (zeros) โดยการแทนค่า $\omega = s/j$ แล้วแก้สมการเลือกค่าโพลและซีโร่ เป็นที่ที่ทราบกันดีว่าถ้าต้องการให้ระบบมีความเสถียรภาพ และมีเฟสต่ำสุด จะต้องเลือกค่าโพลและซีโร่ทางซ้ายของระนาบ s (s -plane) ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันเศษส่วน (rational function)

$$N(s) = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_{m-1} s^{m-1} + a_m s^m}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_{m-1} s^{m-1} + b_m s^m} \quad (9)$$

เมื่อ $m = 2n$ เป็นอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน

จากสมการที่ (8) จะได้เศษเป็น $(s+1)^{2n}$ เพราะฉะนั้นเลือกค่าซีโร่ $s = -1$ สำหรับค่าโพลสามารถเลือกได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสาม

สรุปได้ว่าการปรับเปลี่ยนหรือเลือกค่าพารามิเตอร์ n K และ ε นั้นสามารถปรับคุณลักษณะทางขนาดและเฟสที่ต้องการได้

การออกแบบวงจรกรองความถี่แอนาล็อกความถี่ต่ำผ่านอันดับ 4 ($n=2$) โดยใช้โพลีโนเมียลแบบเบรินสไตน์ ในเบื้องต้นได้กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ดังนี้ คือ $K=1$ โดยค่าพารามิเตอร์ K สามารถเป็นได้ตั้งแต่ 1 ถึง n และสมมติค่าพารามิเตอร์ $\varepsilon=10$ นำไปแทนลงในสมการที่ (8) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านคือ

$$N(s) = \frac{H_0 \cdot (1+s)^4}{s^4 + 3.1532s^3 + 2.9714s^2 + 0.7941s + 0.0995} \quad (10)$$

การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเบรินสไตน์อันดับ 4 ($n=2$) โดยกำหนดให้ $K=1$ แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ε เป็นดังนี้ $\varepsilon=0.1$, $\varepsilon=1$, $\varepsilon=10$ และ $\varepsilon=100$ ส่วนค่าคงที่ H_0 ในที่นี้จะกำหนดค่าทางขนาดของผลตอบสนองทางขนาดสูงสุดเป็น 7.5 เท่ากันทุกเงื่อนไขเป็นตัวอย่างเพื่อดูกราฟคุณลักษณะทางขนาด แสดงดัง (Figure 3)

(Figure 3a) แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางขนาดของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบเบรินสไตน์เมื่อปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ε จะเห็นว่ามีความราบเรียบที่สุดทางขนาดในย่านความถี่แถบผ่านและแถบหยุด นอกจากนั้นการลดทอนในย่านความถี่แถบหยุดยังสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ ส่วน (Figure 3b) แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

แบบเบรินสไตน์ เมื่อปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ε จะเห็นได้ว่ามีเฟสเชิงเส้นทุกเงื่อนไข นอกจากนั้นสโลปของเฟสยังสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ ε

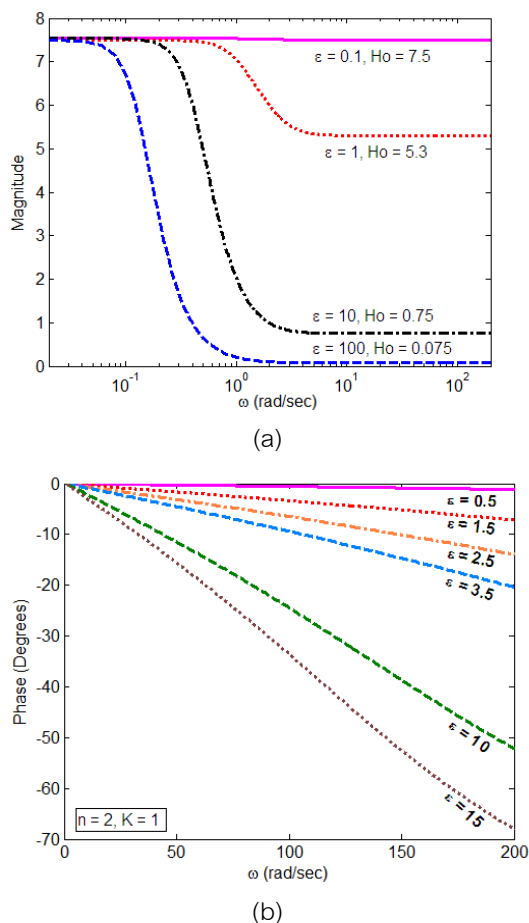


Figure 3 Comparison of magnitude and phase response of several K parameters.

ผลการศึกษา

ในออกแบบวงจรกรองสโรวอร์เน็ตเวิร์กโดยทั่วไป จะทำการหาสมการวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) ก่อนจากนั้นค่อยทำการหา

ฟังก์ชันถ่ายโอนของสมการวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และสมการวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (band pass filter) จากสมการกรองความถี่ดังกล่าว เมื่อนำสมการวงจรกรองความถี่ทั้งสามมารวมกันต้องได้สมการวงจรกรองผ่านทุกความถี่ (all pass filter) ที่มีความราบเรียบหรือมีค่าเท่ากับ 1 แต่การออกแบบวิธีนี้อาจไม่ได้วงจรครอสโอเวอร์-เนตเวิร์กที่ดีเสมอไป จึงได้มีการออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เนตเวิร์กโดยเริ่มหาสมการของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ (all pass filter) จากสมการโพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์อันดับ 2 ก่อนจากนั้นทำการคอนจูเกต (conjugate) เพื่อให้ได้สมการโพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์อันดับ 4 ของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ และเป็นการลดจำนวนพจน์ของเศษในสมการให้เหลือเศษเพียง 3 พจน์ที่สามารถแบ่งเป็นสมการของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สมการของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน และสมการของวงจรกรองแถบความถี่ผ่านได้อย่างละพจน์ แล้วนำสมการของวงจรกรองความถี่ทั้งสามมารวมกัน จะต้องได้กราฟของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่มีขนาดราบเรียบหรือมีค่าเท่ากับหนึ่งตามสมการที่ (1)

$$|H(j\omega)|_{APF}^2 = |H(j\omega)|_{LPF}^2 + |H(j\omega)|_{BPF}^2 + |H(j\omega)|_{HPF}^2 \quad (11)$$

โดย $|H(j\omega)|_{LPF}^2$ คือ สมการฟังก์ชันถ่ายโอนคุณลักษณะทางขนาดยกกำลังสองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

$|H(j\omega)|_{HPF}^2$ คือ สมการฟังก์ชันถ่ายโอนคุณลักษณะทางขนาดยก

กำลังสองของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

$|H(j\omega)|_{BPF}^2$ คือ สมการฟังก์ชันถ่ายโอนคุณลักษณะทางขนาดยกกำลังสองของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

$|H(j\omega)|_{APF}^2$ คือ สมการฟังก์ชันถ่ายโอนคุณลักษณะทางขนาดยกกำลังสองของวงจรกรองผ่านทุกความถี่

$$TF_{APF} = \frac{s^4 - 0.5002s^2 + 0.2502}{s^4 + 2.45s^3 + 2.5010s^2 + 1.2255s + 0.2502} \quad (12)$$

นำสมการที่ (12) มาแยกพจน์ออกเป็นของแต่ละวงจรกรองความถี่ ได้ดังนี้

$$TF_{HPF} = \frac{s^4}{s^4 + 2.45s^3 + 2.5010s^2 + 1.2255s + 0.2502} \quad (13)$$

$$TF_{BPF} = \frac{-0.5002s^2}{s^4 + 2.45s^3 + 2.5010s^2 + 1.2255s + 0.2502} \quad (14)$$

$$TF_{APF} = \frac{0.2502}{s^4 + 2.45s^3 + 2.5010s^2 + 1.2255s + 0.2502} \quad (15)$$

เมื่อนำสมการที่ (13) ถึงสมการที่ (15) มาเขียนกราฟแสดงดัง (Figure 4)

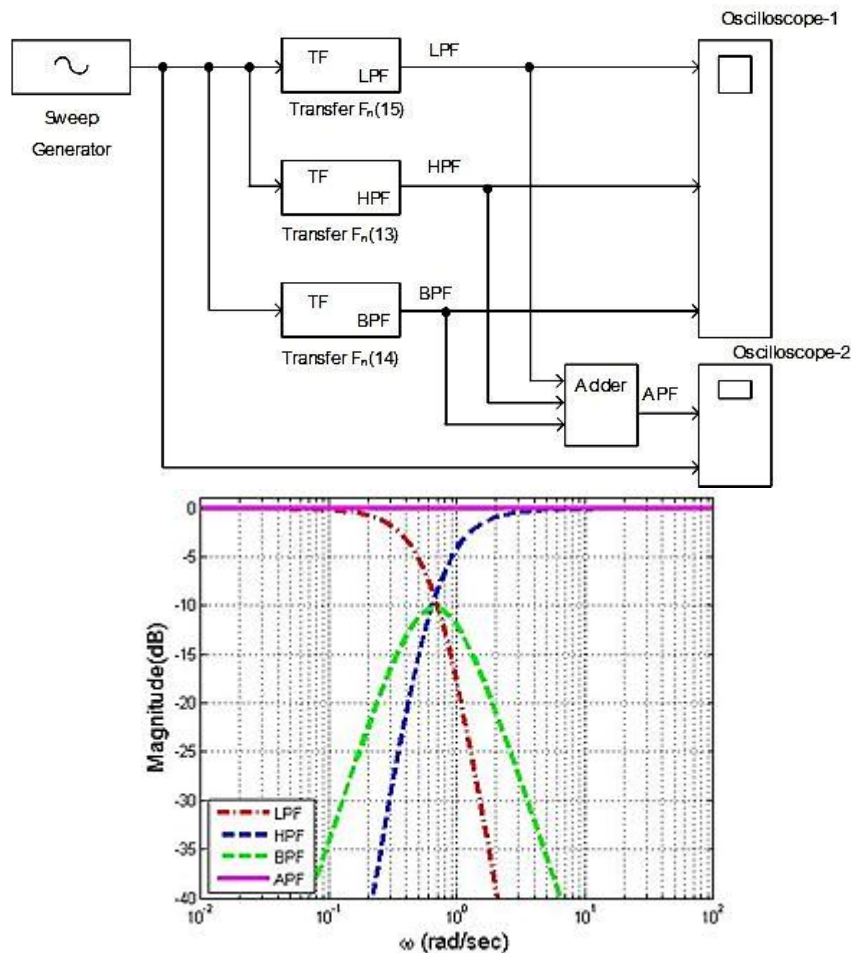


Figure 4 The proposed magnitude response of three way crossover network.

(Figure 4) แสดงความสัมพันธ์ทางขนาดของการแบ่งพจน์สมการโพลิโนเมียลแบบเบิร์นสไตน์อันดับ 4 ในระบบ 3 ทางที่ค่าพารามิเตอร์ $\varepsilon = 1.7315$ พบว่ามีความราบเรียบทางขนาดและจุดตัดความถี่ cut-off ที่เดียวกัน ตรงตามคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่ดี

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ โดยการทดสอบฟังก์ชันถ่ายโอนที่นำเสนอสามารถพิสูจน์ได้จากหลักการดังต่อไปนี้ จากโพลิโนเมียลตัวส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนกำหนดโดยสมการ (16) เขียนได้ดังนี้

$$D(s) = s^4 + 3.1532s^3 + 2.9714s^2 + 0.7941s + 0.099 \quad (16)$$

สมการ (16) เขียนใหม่ได้ว่า

$$D(s) \Big|_{s=j\omega} = u(\omega) + jv(\omega) \quad (17)$$

โดยที่ $u(\omega) = 0.0995 - 2.9714\omega^2$ และ

$$v(\omega) = 0.7941\omega - 3.1532\omega^2$$

การเขียนกราฟดำเนินการโดยการปรับค่า ω ตั้งแต่ $-\infty$ ถึง 0 และจาก ∞ ถึง 0 เช่นกัน กราฟในแกนนอนแสดงค่าจริง $u(\omega)$ และกราฟในแกนตั้ง

แสดงค่าจิตภาพ $v(\omega)$ ตามลำดับ การพิจารณาความเสถียรระบบสังเกตได้จากเส้นโค้งคอนทัวร์ (Contour) ว่าล้อมรอบจุดศูนย์แสดงว่าระบบทดสอบมีความเป็นเสถียร วิธีดังกล่าวเรียก หลักเกณฑ์ของ Mikhailov's แสดงดัง (Figure 5)

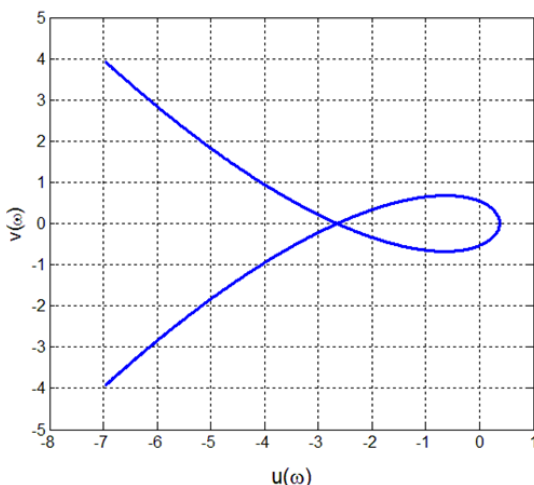


Figure 5 Stability test using Mikhailov's criterion.

อภิปรายผล

ข้อดีของวงจรรองความถี่ด้วยเทคนิคโพลีโนเมียลแบบเบรินสไตน์ คือสามารถปรับเปลี่ยนการลดทอนปรับ เปลี่ยนสโลปของเฟส และปรับความราบเรียบทางเวลาประวิงให้มากขึ้นตามต้องการโดยการปรับเปลี่ยนค่า พารามิเตอร์ ε และสามารถปรับเปลี่ยนสโลปหรือความชันของขนาดและเฟสได้ตามการใช้งาน และสามารถปรับความราบเรียบทางเวลาประวิงให้มากขึ้นได้ โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ K

สรุป

วงจรรองความถี่แบบเบรินสไตน์มีข้อดีคือสามารถควบคุมคุณลักษณะทางขนาดและเฟสความเป็นเชิงเส้นของเฟส ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงเฟส เป็นต้น เหมาะที่จะนำไปออกแบบวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้วงจรรองแถบความถี่ผ่านที่มีกราฟสูงพอ เพื่อป้องกันการขาดหายของสัญญาณเสียงกลางผลจากการจำลองพบว่าสัญญาณเสียงที่ผ่านการกรองด้วยวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กโดยใช้วงจรรองความถี่ด้วยเทคนิคโพลีโนเมียลแบบเบรินสไตน์นั้น สามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

คำขอบคุณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอกกรุงเทพมหานคร ผศ.ดร.วัลลภ ชูประดิษฐ์ รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและ ดร.สุดาสวรรค์ งามมงคลวงศ์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก กรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง

- Ashley, J. 1984. Requirements for loudspeaker crossover networks. pp. 144-147. In: Proceedings ICASSP 84, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 19-21 March 1984. Sheraton Harbor Island-east Hotel, San Diego, California.

- Baez-Lopez, D. 1991. The Bernstein filter a new class of linear phase filter approximation. pp. 704-707. *In*: IEEE Proceedings of the 34th Midwest Symposium on Circuits and Systems 1991, 14-17 May 1991. Monterey, California.
- Chen, W. 1986. Passive and active filters theory and implementation. John Wiley & Sons, New York.
- Chutchavong, V., O. Sangaroon and K. Janchitrapongvej. 2013. Linear-phase Bernstein filter for equalized the distorted chrominance. LAP Lambert Academic Publishing, Germany.
- Lorentz, G.G. 1986. Bernstein polynomials. Chelsea publishing company, New York.
- Schaumann, R. and M.E. Van Valkenburg. 2001. Design of analog filters. Oxford University Press, New York.