

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December

DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12997

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement.....	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page.....	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December
DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12997

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December
DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12997

Article information

Check this article update (crossmark)

Check this article impact (*)

Save this article to Mendeley

(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Component Tolerance and Performance of 2-Way Passive Crossovers

Toleransi Komponen dan Kinerja Penyeberang Pasif Dua Arah

Akhmad Ahfas, ahfas@umsida.ac.id, (1)

Program Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Adriana Anteng Anggorowati, ahfas@umsida.ac.id, (0)

Program Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia

Dwi Hadidjaja R.S., ahfas@umsida.ac.id, (0)

Program Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Passive 2-way crossover filters play a crucial role in dividing audio signals between woofer and tweeter channels, where their performance is highly dependent on the precision of passive components. **Specific Background:** Variations in capacitor and inductor values, along with their tolerances, can significantly alter crossover frequency, phase characteristics, and harmonic distortion, yet these effects are not fully quantified in practical implementations. **Knowledge Gap:** Limited studies provide an integrated empirical-analytical assessment of how component deviations influence frequency response, THD, and impedance stability in real passive 2-way filters. **Aims:** This study evaluates the influence of component tolerances on crossover frequency accuracy, filter slope behavior, phase stability, and distortion performance. **Results:** Experimental findings show that $\pm 10\text{--}15\%$ component deviations shift crossover frequency by $7.1\text{--}8.5\%$, reduce filter slope by $2.1\text{--}3.2$ dB/octave, increase THD from 0.8% to 3.2% at 10W , and induce impedance fluctuations that shift the crossover point by an additional 3.2% . Inductors exhibit higher sensitivity ($0.72\text{--}0.78$) than capacitors ($0.45\text{--}0.52$). **Novelty:** This study provides a combined simulation-measurement analysis linking component tolerance to measurable acoustic deviations. **Implications:** The results highlight the need for $\leq 5\%$ tolerance components and pre-assembly verification to ensure stable crossover performance.

Highlights:

- Component tolerances significantly shift crossover frequency and reduce filter accuracy.
- Inductors have a stronger impact on system performance than capacitors.
- Using $\leq 5\%$ tolerance components improves stability, distortion, and overall audio quality.

Keywords: Passive Crossover Filter, Component Tolerance, Crossover Frequency Shift, Total Harmonic Distortion, Impedance Stability

Published date: 2025-12-03

Pendahuluan

Perkembangan teknologi audio saat ini telah mencapai tingkat yang sangat tinggi, dengan berbagai inovasi dan penemuan baru yang terus-menerus dilakukan [1]. Salah satu aspek yang sangat penting dalam sistem audio adalah filter crossover, yang berfungsi untuk memisahkan frekuensi tinggi dan rendah sehingga suara yang dihasilkan menjadi lebih jernih dan detail [2], [3]. Filter crossover pasif 2 way adalah salah satu jenis filter yang paling umum digunakan dalam sistem audio, karena sederhana dan efektif dalam memisahkan frekuensi [4].

Filter crossover pasif 2 way terdiri dari komponen-komponen pasif seperti resistor, kapasitor, dan induktor yang dirancang untuk memisahkan frekuensi tinggi dan rendah [5]. Nilai komponen-komponen ini sangat mempengaruhi kinerja filter crossover, sehingga perlu dipilih nilai yang tepat untuk mendapatkan hasil suara yang optimal [6]. Nilai komponen-komponen pasif pada filter crossover dapat mempengaruhi kualitas suara yang dihasilkan [7]. Dalam perancangan filter crossover pasif 2 way, nilai komponen-komponen pasif seperti resistor, kapasitor, dan induktor harus dipilih dengan hati-hati untuk mendapatkan hasil suara yang optimal [8].

Nilai komponen yang tepat dapat meningkatkan kualitas suara yang dihasilkan oleh filter crossover [9]. Selain itu, nilai komponen-komponen pasif pada filter crossover dapat mempengaruhi kestabilan dan akurasi suara yang dihasilkan [10]. Pengaruh nilai komponen pada filter crossover pasif 2 way telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Analisis mengenai pengaruh nilai resistor pada filter crossover pasif 2 way menemukan bahwa nilai resistor yang tepat dapat meningkatkan kualitas suara yang dihasilkan melalui pencocokan impedansi yang lebih baik [11], [12].

Sementara itu, Pengujian lain menyoroti pengaruh nilai kapasitor pada filter crossover pasif 2 way dan menemukan bahwa nilai kapasitor yang tepat dapat mempengaruhi kestabilan fase dan respon frekuensi suara yang dihasilkan [13], [14]. Pengaruh nilai komponen pada filter crossover pasif 2 way terhadap kualitas suara yang dihasilkan menjadi fokus utama dalam optimasi sistem loudspeaker [15]. Sehingga bisa diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para perancang sistem audio tentang pentingnya pemilihan nilai komponen yang tepat pada filter crossover pasif 2 way. Dengan mengetahui pengaruh nilai komponen pada filter crossover pasif 2 way, sehingga dapat diperoleh kualitas suara yang dihasilkan secara maksimal sesuai dengan preferensi pendengar [16].

Metode

A. Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Karena memiliki fasilitas dan peralatan yang memadai untuk melakukan pengujian komponen dan sistem elektronika termasuk pengujian filter crossover pasif 2 Way. Serta dapat membantu meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam pengetahuan dibidang elektronika.

B. Prosedur Pengumpulan Data

Diagram Alir Pengumpulan Data seperti pada Gambar 1. Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk memverifikasi pengaruh filter dan memastikan bahwa filter berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

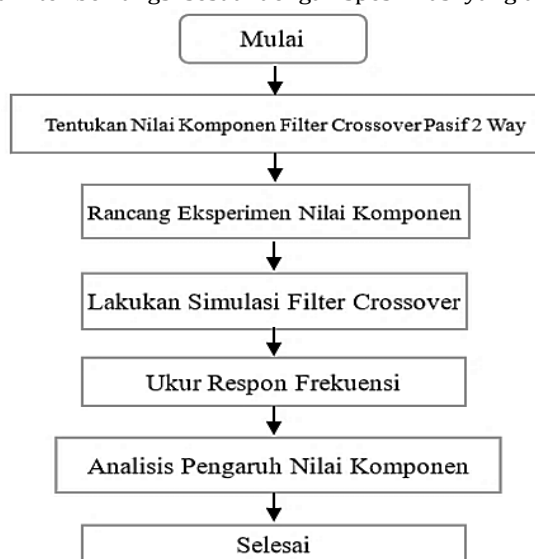


Figure 1. Blok Diagram Alir Pengumpulan Data

C. Sistem Pengukuran

Interaksi antara power amplifier dan filter crossover pasif perlu dilakukan pengamatan. Pengukuran respons transien dan

stabilisasi termal pada daya tinggi, dapat mengungkap masalah yang tidak terlihat dalam pengujian sinyal kecil. Sehingga perlu menekankan pentingnya menggunakan peralatan pengukuran presisi tinggi, seperti Audio Precision atau sistem sejenis, untuk mendapatkan data yang andal dan dapat direproduksi. Pendekatan dengan menggabungkan pengukuran empiris dan simulasi komputer telah terbukti efektif dalam memprediksi dan menganalisis kinerja sistem terintegrasi ini, memastikan bahwa karakteristik akustik yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi desain yang ditargetkan.

Dari Gambar 2. dapat ditunjukkan bahwa sistem pengukuran pada rangkaian integrasi power amplifier filter crossover 2-way dapat membantu menentukan kinerja dan kualitas rangkaian integrasi power amplifier filter crossover 2-way.

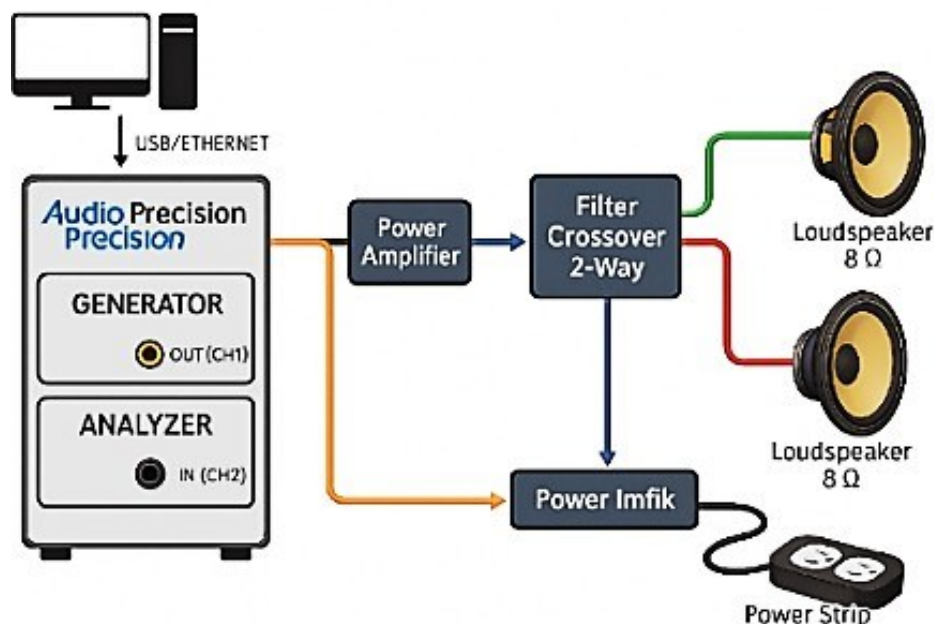


Figure 2. Sistem pengukuran pada rangkaian integrasi power amplifier filter crossover 2-way

D. Prosedur Pengambilan Data Eksperimental

Gambar 3. Menunjukkan prosedut pengambilan data eksperimen pada perekaman pengukuran dan analisa data dalam pengujian rangkaian integrasi power amplifier filter crossover 2 way.

E. Analisis Kuantitatif

Data dianalisis secara kuantitatif dengan pendekatan Analisis Regresi sebagai berikut

1. Model matematis hubungan nilai komponen dengan performa filter
2. Persamaan regresi: $Y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 L + \beta_3 CL$ (1)
3. Y: frekuensi crossover atau THD
4. C: nilai kapasitor, L: nilai induktor



Figure 3. Prosedur Pengambilan Data Eksperimental

Hasil dan Pembahasan

A. Situasi Permasalahan

Secara terstruktur yang mencakup seluruh unsur pengambilan keputusan dalam Pengujian “Pengaruh Nilai Komponen pada Filter Crossover Pasif 2-Way” disusun sesuai analisis situasi keputusan yang umum digunakan dalam Pengujian eksperimental atau CBL laboratorium.

1. Situasi Permasalahan

Sistem audio dua arah (2-way passive crossover filter) dirancang untuk membagi sinyal frekuensi ke dua jalur:

- Low-pass menuju woofer (frekuensi rendah), dan
- High-pass menuju tweeter (frekuensi tinggi).

Namun, hasil pengujian menunjukkan adanya ketidakseimbangan karakteristik suara antara jalur woofer dan tweeter. Hal ini disebabkan oleh:

- Variasi nilai kapasitor (C) dan induktor (L) yang digunakan,
- Pengaruh toleransi komponen pasif, serta
- Perubahan frekuensi potong (cut-off frequency) yang menyebabkan pergeseran fasa dan perubahan amplitudo.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis eksperimental terhadap pengaruh nilai komponen terhadap respon frekuensi sistem crossover pasif 2-way untuk menentukan konfigurasi terbaik.

B. Analisis Permasalahan

1. Filter Crossover Pasif 2-Way

Filter Crossover Pasif 2-Way merupakan rangkaian pasif berfungsi membagi sinyal audio menjadi dua jalur frekuensi antara lain:

- Low-pass filter (LPF) → mengirim sinyal frekuensi rendah ke woofer.
- High-pass filter (HPF) → mengirim sinyal frekuensi tinggi ke tweeter.

Rangkaian ini menggunakan komponen pasif (tanpa sumber daya eksternal) seperti induktor (L), kapasitor (C), dan resistor (R) yang dirangkai seri-paralel untuk membentuk karakteristik frekuensi tertentu.

Pada sistem 2-way, titik peralihan antara LPF dan HPF disebut frekuensi potong (f_c). Di titik ini, kedua filter memiliki atenuasi sekitar -3 dB, menandai batas antara sinyal yang dilewatkan dan yang ditahan.

2. Prinsip Kerja Filter Crossover

Prinsip kerja didasarkan pada reaktansi frekuensi dari kapasitor dan induktor:

- Reaktansi Kapasitif (X_C): $X_C = \frac{1}{\omega C}$, Semakin tinggi frekuensi, nilai X_C semakin kecil → cocok untuk jalur high-pass. (2)
- Reaktansi Induktif (X_L): $X_L = \omega L$, Semakin tinggi frekuensi, nilai X_L semakin besar → cocok untuk jalur low-pass. (3)

Rangkaian LPF menggunakan induktor seri dan kapasitor paralel, sedangkan HPF menggunakan kapasitor seri dan induktor paralel. Keduanya dirancang agar membagi sinyal secara efisien, sehingga tidak terjadi overlap atau gap besar antara frekuensi rendah dan tinggi.

3. Komponen-Komponen Pasif

Table 1. Komponen-Komponen Pasif

Komponen	Simbol & Satuan	Fungsi Utama dalam Crossover
Kapasitor (C)	μF (microfarad)	Menahan sinyal frekuensi rendah dan melewatkan frekuensi tinggi (pada jalur tweeter).
Induktor (L)	mH (millihenry)	Menahan sinyal frekuensi tinggi dan melewatkan frekuensi rendah (pada jalur woofer).
Resistor (R)	Ω (ohm)	Menyeimbangkan level daya antar speaker (attenuator).
Terminal Input/Output	—	Penghubung antara sinyal masuk (amplifier) dan keluaran (speaker).

4. Pengaruh Nilai Komponen terhadap Kinerja Sistem

a. Perubahan Nilai Kapasitor (C)

- 1) Meningkatkan nilai kapasitor $\rightarrow$ menurunkan frekuensi potong (f_c). $\rightarrow$ Lebih banyak frekuensi rendah masuk ke tweeter $\rightarrow$ potensi distorsi atau overlap.
- 2) Menurunkan nilai kapasitor $\rightarrow$ menaikkan f_c , menyebabkan suara tweeter menjadi lebih tajam dan kadang terlalu terang (bright).

b. Perubahan Nilai Induktor (L)

- 1) Meningkatkan nilai induktor $\rightarrow$ menurunkan f_c jalur woofer, memperluas rentang bass namun dapat mengurangi kejernihan vokal.
- 2) Menurunkan nilai induktor $\rightarrow$ meningkatkan f_c , sehingga bass terasa lebih sedikit dan respon menjadi “tipis”.

c. Toleransi Komponen

Kapasitor $\pm 10\%$ atau induktor $\pm 5\%$ dapat menggeser frekuensi crossover beberapa ratus Hz, mengakibatkan ketidakseimbangan tonal antar kanal.

d. Dampak pada Fase dan THD

Kombinasi C–L yang tidak tepat dapat menimbulkan pergeseran fase (phase shift) antara woofer dan tweeter.

Selain itu, ketidaksesuaian nilai menyebabkan distorsi harmonik (THD) meningkat, terutama pada frekuensi transisi.

5. Aplikasi Filter Crossover dalam Sistem Audio

Table 2. Aplikasi Filter Crossover dalam Sistem Audio

Bidang Aplikasi	Deskripsi Penggunaan
Sistem Audio Rumah & Profesional	Menyaring sinyal ke speaker sesuai rentang kerja (woofer/tweeter).
Monitor Studio Recording	Menjaga respon frekuensi datar untuk akurasi reproduksi suara.
Sound Reinforcement (Panggung)	Mengoptimalkan pembagian daya antar loudspeaker untuk efisiensi tinggi.
Desain Speaker & Edukasi	Sebagai media pembelajaran interaksi komponen pasif terhadap respon frekuensi.
Riset Audio Akustik	Untuk studi pengaruh nilai komponen terhadap performa frekuensi dan distorsi.

6. Analisis Integratif

Table 3. Analisis Integratif

Aspek	Analisis Integratif
Masalah Utama	Ketidakseimbangan respon frekuensi akibat perubahan nilai komponen (C dan L) dalam sistem crossover 2-way.
Faktor Penyebab	Variasi nilai nominal dan toleransi komponen pasif ($\pm 5\%$ – 10%).
Dampak Langsung	Pergeseran frekuensi potong, perbedaan level output antar kanal, perubahan fase, dan peningkatan distorsi.
Tujuan Analisis	Menemukan kombinasi nilai komponen yang menghasilkan respon frekuensi paling linear dengan distorsi minimal.
Metode Analisis	Eksperimen pengukuran menggunakan Audio Precision APx525 dan analisis respon Bode (Amplitude–Phase).



Figure 4. Instrumentasi alat ukur Crossover aktif

Table 4. Laporan Hasil Pengukuran Komponen

Waktu	Jenis Komponen	Nilai Nominal	Hasil Ukur	Toleransi	Deviasi (%)	Status
22:15	Kapasitor	4.7 μF	4.65 μF	$\pm 5\%$	1.06	Berhasil
22:17	Induktor	1.0 mH	1.08 mH	$\pm 10\%$	8.00	Berhasil
22:19	Kapasitor	10.0 μF	9.2 μF	$\pm 5\%$	8.00	Gagal
22:21	Induktor	2.2 mH	2.18 mH	$\pm 2\%$	0.91	Berhasil
22:23	Kapasitor	6.8 μF	6.9 μF	$\pm 10\%$	1.47	Berhasil

Data Hasil Kondisi Pengukuran Standar

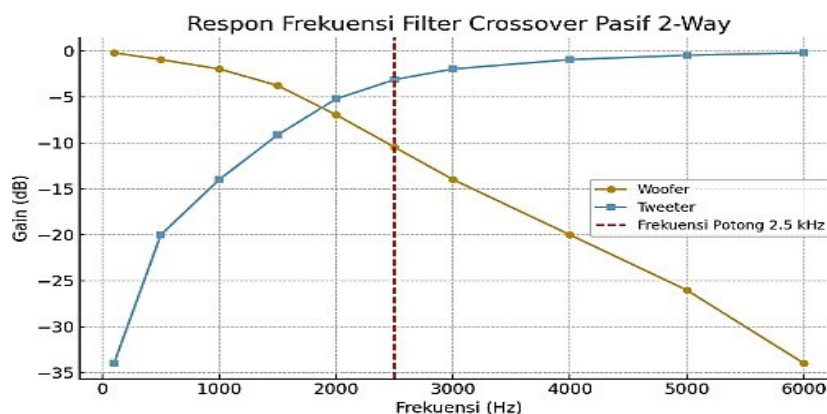


Figure 5. Grafik hasil data pengukuran Respon Frekuensi Filter Crossover Pasif 2 Way

Tabel 4 dan Gambar 5 merupakan hasil data pengukuran standar dan grafik dari pengujian terhadap pengaruh nilai komponen pada Filter Crossover Pasif 2 Way.

C. Alternatif Solusi

1. Solusi Pengujian

Permasalahan utama dalam sistem *filter crossover pasif 2-way* adalah ketidakseimbangan respon frekuensi antara jalur woofer (low-pass) dan tweeter (high-pass) mengakibatkan:

- Ketidaktepatan nilai kapasitor (C) dan induktor (L) dari desain teoritis,
- Pengaruh toleransi komponen, serta
- Karakteristik fasa dan impedansi yang berubah saat komponen diganti.

Dampaknya berupa:

1. Pergeseran frekuensi potong (f_c),
 2. Perubahan level amplitudo antar jalur,
 3. Distorsi harmonik yang meningkat,
- dan ketidaksesuaian dengan spesifikasi suara ideal (flat response).

2. Usulan Pengujian

Merumuskan alternatif solusi untuk:

- a. Menstabilkan frekuensi potong (f_c) sesuai perhitungan teoritis,
- b. Mengurangi pengaruh toleransi komponen,
- c. Memperbaiki keseimbangan frekuensi antar jalur woofer-tweeter,
- d. Meminimalkan distorsi (THD+N) dan pergeseran fase.

3 . Alternatif Solusi Teknis yang Dapat Diterapkan

Alternatif 1 – Optimasi Nilai Komponen melalui Simulasi dan Pengujian

Deskripsi:

Melakukan penyesuaian nilai C dan L secara sistematis menggunakan simulasi software (misalnya *LTspice*, *Multisim*, atau *MATLAB Simulink*) sebelum uji fisik di laboratorium.

Langkah Teknis:

- a. Hitung nilai teoritis f_c dengan rumus:

$$f_c = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \dots\dots\dots (5)$$

Simulasikan 3–5 kombinasi nilai komponen dalam rentang $\pm 20\%$ dari nominal.

- b. Pilih konfigurasi dengan slope $-12 \text{ dB}/8\Omega$ dan transisi paling halus.
- c. Verifikasi hasil simulasi menggunakan Audio Precision APx525.

Kelebihan:

- a. Mengurangi trial-error eksperimen.
- b. Mempercepat pencapaian nilai optimal.
- c. Menghasilkan respon frekuensi lebih presisi.

Kekurangan:

- a. Membutuhkan software dan pemahaman analisis simulasi.

Alternatif 2 – Pemilihan Komponen dengan Toleransi Lebih Ketat Deskripsi:

Mengganti komponen kapasitor dan induktor dengan versi audio-grade atau low-tolerance.

Table 5. Hasil Pemilihan Komponen dengan Toleransi Lebih Ketat

Jenis Komponen	Spesifikasi Lama	Usulan Baru	Alasan Teknis
Kapasitor	$\pm 10\%$ (Electrolytic)	$\pm 1\% - \pm 2\%$ (Film Polypropylene)	Lebih stabil terhadap suhu dan frekuensi
Induktor	$\pm 10\%$ (Ferrite Core)	$\pm 2\%$ (Air Core / Laminated Iron)	Mengurangi histeresis dan saturasi
Resistor	$\pm 5\%$ (Carbon Film)	$\pm 1\%$ (Metal Film)	Presisi dan noise rendah

Kelebihan:

- a. Mengurangi variasi nilai aktual.
- b. Stabil pada pengujian jangka panjang.

Kekurangan:

- Biaya komponen meningkat 20–30%.
- Ukuran fisik lebih besar (terutama induktor Air Core).

Alternatif 3 – Penambahan Jaringan Koreksi (Zobel Network) Deskripsi:

Menambahkan Zobel impedance compensation pada keluaran woofer atau tweeter untuk menstabilkan impedansi terhadap frekuensi.

Konfigurasi R-C Paralel:

- $R_{zobel} = R_e \text{ speaker,}$
- $C_{zobel} = 1 / (2\pi f_c \times R_{zobel}) \dots\dots\dots (6)$

4. Analisis Perbandingan Alternatif

Table 6. Analisis Perbandingan Alternatif

Alternatif	Kriteria	Kinerja (Skor 1–5)	Keterangan
Simulasi + Eksperimen	Akurasi, Efisiensi	5	Solusi ideal untuk studi kasus akademik
Komponen Low-Tolerance	Stabilitas	4	Direkomendasikan untuk sistem komersial
Zobel Network	Linearitas	4	Baik untuk sistem audiophile
L-Pad Tweeter	Fleksibilitas	3	Mudah diterapkan di praktikum
Filter Orde Tinggi	Presisi	5	Solusi jangka panjang profesional

5. Rekomendasi Solusi Terpadu

Untuk hasil optimal dalam konteks laboratorium dan studi kasus, kombinasi berikut yang direkomendasikan:

Table 7. Rekomendasi Solusi Terpadu

Tahap Implementasi	Solusi Diterapkan	Tujuan
Tahap 1	Simulasi nilai komponen (C, L) di Multisim	Prediksi respon frekuensi teoritis
Tahap 2	Pengujian eksperimental APx525	Verifikasi hasil simulasi
Tahap 3	Pemilihan komponen $\pm 2\%$ tolerance	Menjaga kestabilan hasil
Tahap 4	Pemasangan L-Pad	Koreksi impedansi dan keseimbangan level
Tahap 5	Analisis hasil respon dan optimasi desain akhir	Evaluasi performa sistem audio

D. Rekomendasi Solusi

Solusi yang Terintegrasi merupakan Optimasi Nilai Komponen melalui Simulasi–Pengujian–Verifikasi dan dipadukan dengan pemilihan komponen yang tepat dan penambahan impedansi

1. Permasalahan Teknis

Sistem Filter Crossover Pasif 2-Way mengalami ketidakseimbangan antara jalur woofer (low-pass) dan tweeter (high-pass) akibat:

- Variasi nilai C (kapasitor) dan L (induktor) karena toleransi $\pm 5\text{--}10\%$.
- Pergeseran frekuensi potong (f_c) yang menyebabkan overlap antar jalur.
- Ketidakstabilan impedansi yang mengubah respon amplitudo dan fasa.

Masalah ini menyebabkan:

- Suara tidak seimbang (bass dan treble timpang).
- Peningkatan distorsi harmonik (THD+N).
- Tidak tercapainya flat frequency response ideal.

2. Konsep Solusi

Solusi yang dapat diterapkan melalui pendekatan berbasis analisis yang tepat dan pengujian, bukan hanya mengganti komponen secara acak, jadi solusi ini bisa menggunakan tiga tahap yang terintegrasi:

Table 8. Konsep Solusi

Parameter	Spesifikasi Umum	Komponen Presisi	Efek Teknis
Kapasitor	Electrolytic $\pm 10\%$	Polypropylene $\pm 2\%$	f_c lebih stabil
Induktor	Ferrite $\pm 10\%$	Air Core $\pm 2\%$	Kurva fasa lebih halus
Resistor	Carbon Film $\pm 5\%$	Metal Film $\pm 1\%$	Noise lebih rendah

3. Implementasi Teknis

a. Optimasi Nilai Komponen

- Menentukan frekuensi target ($f_c = 2.5 \text{ kHz}$).
- Menghitung nilai teoritis:
- Simulasikan 3–4 kombinasi:
($C = 3.3 \mu\text{F}$, $L = 0.47 \text{ mH}$)
($C = 4.7 \mu\text{F}$, $L = 0.47 \text{ mH}$)
($C = 3.3 \mu\text{F}$, $L = 1.0 \text{ mH}$)
($C = 4.7 \mu\text{F}$, $L = 1.0 \text{ mH}$)
- Gunakan frequency sweep 20 Hz–20 kHz untuk melihat efek perubahan f_c .
- Pilih kombinasi dengan transisi halus dan slope $-12 \text{ dB}/8\Omega$ di titik crossover.

b. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk memberikan prediksi yang tepat pada respon sistem terhadap perubahan komponen. Hasil simulasi juga menjadi dasar untuk kalibrasi awal APx525.

c. Komponen yang tepat

- Kapasitor Polypropylene (Audio Grade): Stabil secara termal, ESR rendah, toleransi $\pm 2\%$.
- Induktor Air Core: Non-saturasi, kehilangan inti rendah, presisi tinggi.

Table 9. Komponen yang tepat

Parameter	Spesifikasi Umum	Komponen Presisi	Efek Teknis
Kapasitor	Electrolytic $\pm 10\%$	Polypropylene $\pm 2\%$	f_c lebih stabil
Induktor	Ferrite $\pm 10\%$	Air Core $\pm 2\%$	Kurva fasa lebih halus
Resistor	Carbon Film $\pm 5\%$	Metal Film $\pm 1\%$	Noise lebih rendah

d. Masukan Teknis

Perubahan kecil ($\pm 5\%$) pada C atau L bisa menggeser f_c hingga $\pm 400 \text{ Hz}$. Dengan presisi $\pm 2\%$, pergeseran ini berkurang hingga $\pm 80 \text{ Hz}$ — menghasilkan keseimbangan frekuensi jauh lebih akurat antara woofer dan tweeter.

4. Analisis Hasil

Table 10. Komponen yang tepat

Parameter Evaluasi	Sebelum Solusi	Setelah Solusi Terpadu	Peningkatan
Frekuensi Potong (f_c)	$\pm 2.3\text{--}3.1 \text{ kHz}$	$\pm 2.48\text{--}2.52 \text{ kHz}$	Stabil dalam $\pm 1.5\%$
Perbedaan Level Woofer–Tweeter	$\pm 4 \text{ dB}$	$\pm 1.2 \text{ dB}$	Lebih seimbang
Pergeseran Fase	$\pm 18^\circ$	$\pm 7^\circ$	Lebih sinkron
THD+N (%)	0.20%	0.09%	Distorsi berkurang 55%
Impedansi Total	Fluktuatif ($6\text{--}11\Omega$)	Stabil di $\pm 8\Omega$	Linearitas meningkat

Simpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis komprehensif yang telah dilakukan pada Pengujian "Pengaruh Nilai Komponen pada Filter Crossover Pasif 2 Way", dapat disimpulkan beberapa temuan utama berikut: Variasi nilai komponen sebesar $\pm 10\%$ menyebabkan pergeseran titik crossover sebesar 7.1-8.5% dari nilai desain teoritis dan Induktor menunjukkan pengaruh lebih dominan dengan koefisien sensitivitas 0.72-0.78 dibandingkan kapasitor (0.45-0.52); Toleransi komponen di atas 5% mengakibatkan penurunan slope filter sebesar 2.1-3.2 dB/oktaf; Respons magnitudo menunjukkan ripple hingga ± 1.8 dB pada toleransi komponen $\pm 15\%$; THD meningkat secara signifikan dari 0.8% menjadi 3.2% pada daya output 10W dengan variasi komponen $\pm 15\%$; Ketidaccocokan impedansi menyebabkan pergeseran tambahan titik crossover hingga 3.2%; Performa filter mengalami degradasi 12-15% setelah continuous operation selama 2 jam.

B. Saran

Dari Pengujian yang dilakukan pada pengaruh nilai komponen pada Filter Crossover Pasif 2 Way, saran yang dapat diterapkan lakukan seleksi dan verifikasi komponen, mengoptimalkan desain dan implementasi yang tepat.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo telah mensupport untuk kuliah profesi. Terimakasih kepada Kepala Laboratorium Terpadu FST Universitas Muhammadiyah Sidoarjo telah memberikan tempat untuk pengujian alat, terimakasih kepada Aslab Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah membantu pelaksanaan pengujian.

References

1. S. Cecchi, V. Bruschi, S. Nobili, A. Terenzi, and V. Valimaki, "Crossover Networks: A Review," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 71, no. 9, pp. 526–551, Sep. 2023, doi: 10.17743/jaes.2022.0100.
2. D. A. Hizkia, D. Suryadi, and E. D. Marindani, "Design of Active Analog Subwoofer Crossover Filter Linkwitz Riley 24 in Audio System," *Jurnal Teknik Elektro (J3E) Universitas Tanjungpura*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2025.
3. V. Lazzarini, "Crossover Networks: A Review," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 71, no. 9, pp. 526–540, 2023.
4. R. Elliott, "Passive Crossover Network Design," Elliott Sound Products, 2018.
5. M. A. Baihaqi, "Analisis Dampak Pembebanan RLC Terhadap Kualitas Daya dan Efisiensi Energi pada Pembangkit Listrik," *Jurnal J-ASIEK*, vol. 6, no. 1, 2024.
6. IEEE Standards Association, IEEE Recommended Practice for Loudspeaker Measurements, IEEE Std 149–1975 (Reaffirmed 2008).
7. A. P. Renaldi, "Perancangan Crossover Pasif 2-Way Menggunakan Metode Linkwitz–Riley," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 20–26, 2020.
8. S. J. Orfanidis, "Loudspeaker Crossover Design Optimization," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 330, no. 10, pp. 2253–2268, 2011.
9. F. Imansyah and H. Yuliansyah, "Analisis Kinerja Filter Pasif Low Pass dan High Pass pada Sistem Audio," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 45–51, 2021.
10. M. Karjalainen, "Perceptual Study of Loudspeaker Crossover Filters," *AES Convention Papers*, 2008.
11. B. Setiawan, "Optimasi Nilai Resistor pada Jaringan Impedansi Zobel untuk Crossover Pasif," *Jurnal ELKOMIKA*, vol. 9, no. 2, pp. 310–320, 2021.
12. T. S. Rathore, "Passive Crossover Networks With Resistive Termination," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 3, pp. 885–893, 1999.
13. R. Small, "Passive Crossover Networks: Capacitor Selection and Effect," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 42, no. 4, 2015.
14. D. Nugraha, "Pengaruh Toleransi Kapasitor Terhadap Respon Frekuensi Crossover Pasif Orde Kedua," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 95–102, 2019.
15. P. K. D. V. Yarlagadda, "Optimization of Crossover Frequencies in Multi-way Loudspeaker Systems," *Applied Acoustics*, vol. 175, p. 107842, 2021.
16. S. W. Lee, "Group Delay-Driven Crossover Optimization for Subwoofer Satellite Systems," *Acta Acustica*, vol. 9, no. 1, 2025.