

逢甲大學學生報告 ePaper

以 Simulink 軟體模擬混音濾波器電路之頻率響應研究

Research on frequency response of analog mixing filter

circuit with Simulink software

作者：陳宜欣

系級：精密系統設計學士學位學程 一年級

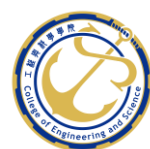
學號：D0908874

開課老師：蔡鈺鼎

課程名稱：電路電子學

開課系所：精密系統設計學士學位學程

開課學年：109 學年度 第 2 學期



中文摘要

頻率響應其目的在描述電路的頻域特性，我們日常使用的音響產品，如耳機、喇叭和擴大機，都是需要了解有關頻率響應的資訊，頻率響應在應用上可說是極為廣泛。本文運用 simulink 軟體結合 MATLAB，模擬常見濾波器電路之頻率響應，如帶通濾波器(band-pass filter)、低通濾波器(low-pass filter)、高通濾波器(high-pass filter)與帶拒濾波器(band-reject band)，目的為研究各濾波器電路連接方式與音訊下呈現之波形狀態與分析。

我們可以在 simulink 軟體上清楚模擬呈現，濾波器串聯設計完成前後之波形來比較結果，並將音訊重新匯出後實際聆聽比較頻率特性間的差異。串接濾波器的種類與數值的選擇，依據濾波器理論並結合個人經驗與想法，自由地設計呈現，藉助 simulink 軟體簡單的進行元件拖拉與計算，輕鬆模擬頻率響應之問題。而若將多個音訊結合，也可運用 simulink 軟體模擬並比較波形之差異，透過及時的濾波器串接與調整，來達到研究所需之目的。

這項 simulink 電子元件模擬應用，可以有效協助我們學習電路學，進行音訊研究者也可輕鬆實際進行分析與探討，且 simulink 軟體模擬應用也不僅限於濾波器頻率分析，還可進行許多模擬研究，例如訊號的選擇、提高功率的傳輸效率等專業應用。

關鍵字：混音、頻率響應、濾波器

Abstract

The purpose of frequency response is to describe the frequency domain characteristics of the circuit. The audio products we use every day, such as headphones, speakers and amplifiers, aim to know information about the frequency response, which is extremely wide in application. This article uses simulink software combined with MATLAB to simulate the frequency response of common filter circuits, such as band-pass filter, low-pass filter, high-pass filter and band-pass filter. The purpose is to study the connection mode of each filter circuit and the waveform state analysis under the audio signal.

We can clearly simulate the display on the simulink software, compare the results before and after the filter series design is completed, and then listen to the differences between the frequency characteristics after re-exporting the audio file. The choice of the type and value of the series connection filter is based on the filter theory and combined with personal experience ideas, and freely design presentation with the help of simulink software to simply drag and calculate the components, and easily simulate the frequency response problem. And if multiple audio signals are combined, simulink software can also be used to simulate and compare the differences in waveforms, and through timely filter series connection and adjustment, to achieve the required purpose of the research.

This simulink electronic component simulation application can effectively help us learn circuit science, and audio researchers can also easily perform actual analysis discussion. As a result, the simulink software simulation application is not limited to filter frequency analysis, but can lead to many simulation studies, like signal selection and improving power transmission efficiency fessional applications.

Keyword : filter; frequency response; mixing

目錄

摘要	1
Abstract	2
目錄	3
圖目錄	4
第一章 緒論	5
1-1 研究背景	5
1-2 研究目的	5
1-3 文獻回顧	5
第二章 研究方法	8
2-1 研究軟體	8
2-2 匯入音檔產生波形圖	8
2-3 典型濾波器電路設計	9
2-4 濾波器電路整合	10
2-5 左右聲道音訊合併輸出	11
2-6 多軌音訊整合輸出	11
第三章 結果與分析	12
第四章 結論	13
參考文獻.....	14

圖目錄

1.1 帶通濾波器電路	6
1.2 帶通濾波器振幅響應	6
1.3 低通濾波器振幅響應	6
1.4 低通濾波器電路	6
1.5 高通濾波器振幅響應	6
1.6 高通濾波器電路	6
1.7 帶拒濾波器電路	7
1.8 帶拒濾波器震幅響應	7
2.1 讀取音檔程式碼	8
2.2 訊號能量與時間圖	8
2.3 library browser 工具介面	9
2.4 帶通濾波器模組元件連接	9
2.5 模組封裝	9
2.6 低通濾波器模組元件連接	9
2.7 高通濾波器模組元件連接	10
2.8 帶拒濾波器模組元件連接	10
2.9 串連設計之濾波器	10
2.10 左右聲道合併輸出.....	11
2.11 將多軌音訊整合輸出.....	11
3.1 輸出模擬波形圖	12
3.2 樂團樂器結合波形	12

第一章 緒論

1-1 研究背景

音樂在我們的日常生活中無所不在。頻率響應其目的在描述電路的頻域特性，我們日常使用的音響產品，如耳機、喇叭和擴大機，都是需要了解有關頻率響應的訊息，頻率響應在應用上可說是極為廣泛。

而在電腦音樂科技普及的現在，國內卻鮮少有關於音樂頻率響應之研究，故透過此電子電路學課程，進而研究濾波器電路之頻率響應。

1-2 研究目的

運用 simulink 軟體結合 MATLAB，模擬常見濾波器電路之頻率響應，如帶通濾波器(band-pass filter)、低通濾波器(low-pass filter)、高通濾波器(high-pass filter)與帶拒濾波器(band-reject band)，目的為研究各濾波器電路連接方式與音樂下呈現之波形狀態與分析。

1-3 文獻回顧

濾波器(filters)的組成元件有電阻(R)、電容(C)和電感(L)，直流電路中電阻對電流有限制流動的作用，在交流電路中，電容及電感也會對電流有限制流動的作用，稱為阻抗(Reactance)，電容和電感的阻抗較電阻複雜，因為會有「隨著流經電路的電流頻率而變化」的效應，所以電阻效應不隨頻率變化，但阻抗會隨著頻率改變而改變。

而所謂濾波器就是能通過特定頻率把其他頻率阻隔掉的電路。最典型的濾波器依據濾波特性分為下列四種：**(1)帶通濾波器**(band-pass filter)、**(2)低通濾波器**(low-pass filter)、**(3)高通濾波器**(high-pass filter)、**(4)帶拒濾波器**(band-reject band)。各典型濾波器分述如下。

(1) 帶通濾波器

只允許某個頻帶寬度的信號通過，電路使用三個基本的元件為電阻、電容和電感。當電容與電感結合用於特殊電路時稱為主動濾波器，在特定頻率響應下會產生峰值。帶通濾波器 RLC 電路如圖 1.1 所示，為一並聯諧振電路。圖 1.2 為其振幅響應圖，當其輸出函數為最大值時，處於諧振的情況。

$$\text{響應頻率：} f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}。 \quad \text{品質因素：} Q = \frac{f_0}{\omega_H - \omega_L}。$$

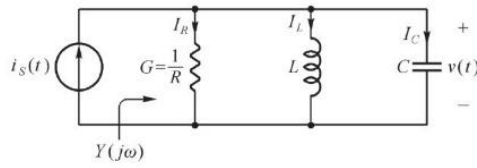


圖 1.1 帶通濾波器電路

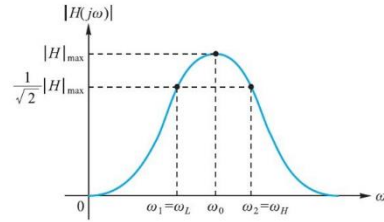


圖 1.2 帶通濾波器振幅響應

(2) 低通濾波器

指低於截止頻率 ω_H 的信號都可通過，圖 1.3 為低通濾波器理想的振幅響應圖。與帶通濾波器不同的是，低通濾波器僅有一截止點。頻率由 0 到截止頻率間可使所有信號通過，高於截止頻率以上的信號都無法通過，由 0 到截止頻率之間的頻率稱之為頻帶寬度 BW。圖 1.4 為其電路圖，由電阻與電容元件組成。

$$\text{截止頻率：}\omega_H = \frac{1}{2\pi RC}。$$

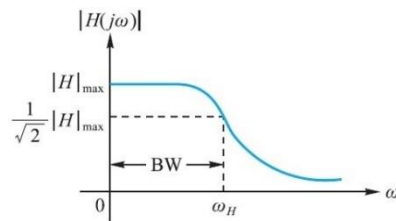


圖 1.3 低通濾波器振幅響應

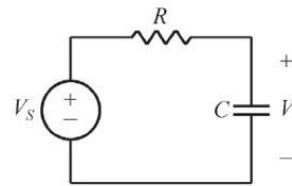


圖 1.4 低通濾波器電路

(3) 高通濾波器

指高於截止頻率 ω_L 的信號可通過，圖 1.5 為高通濾波器理想的振幅響應圖，頻率由 0 到截止頻率間的所有信號不能通過，高於截止頻率以上的信號都可以通過。圖 1.6 為其電路圖，與低通濾波器相同，皆由電阻與電容元件組成，唯有順序上之改變。

$$\text{截止頻率：}\omega_L = \frac{1}{2\pi RC}。$$

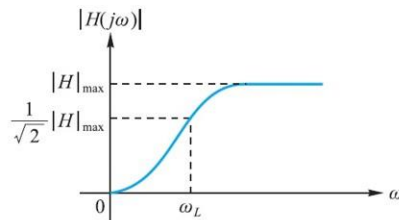


圖 1.5 高通濾波器振幅響應

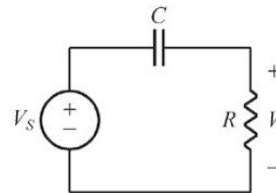


圖 1.6 高通濾波器電路

(4) 帶拒濾波器

為一與帶通濾波器完全相反方式工作的頻率選擇性電路，帶拒濾波器通過所有頻率，但在指定阻帶內的頻率大幅衰減。電路使用元件也與帶通濾波器相同，為電阻、電容和電感。當電容與電感結合。帶拒濾波器 RLC 電路如圖 1.7 所示，為一串聯諧振電路。圖 1.8 為其振幅響應圖，當其輸出函數為最小值時，處於諧振的情況。

響應頻率： $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ， $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 。品質因素： $Q = \frac{f_0}{\omega_H - \omega_L}$ 。

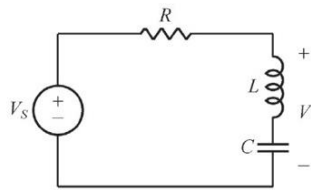


圖 1.7 帶拒濾波器電路

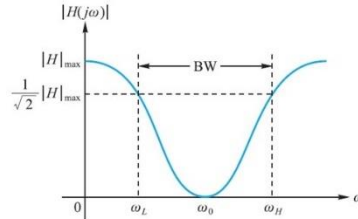


圖 1.8 帶拒濾波器振幅響應



第二章 研究方法

2-1 研究軟體

(1) MATLAB

由 MathWorks 公司推出的數學軟體，這套軟體主要是用於矩陣式的數值運算，有特殊的演算法使其可以做如此的運算，且用法簡易，可靈活使用，程式結構強及具延展性。

其中即時編輯器 Live Script 為內建的功能。可在程式碼的頁面內嵌執行結果，文件內的文字可依需求進行格式調整，還可以加入超連結、圖片及公式，提供使用者方便且快速取得所需資料與答案。

(2) Simulink

為建構在 Matlab 環境下的模擬工具，是一種用來分析與模擬系統動態特性的軟體。運用此軟體模擬實際電路元件，可清楚得知研究結果與繪製圖形數據。

2-2 匯入音檔產生波形圖

運用 MATLAB 即時編輯器 Live Script，透過 audioread 函式將音樂檔案匯入。接著撰寫程式碼，將此音訊整理成 simulink 類比模擬電路可以讀取的訊號，繪製音訊訊號能量與時間的關係圖形，藉此觀察訊號之波形。且將左右聲道存入自訂變數，以便 simulink 讀取之。完整程式碼如圖 2.1，執行後訊號能量與時間關係圖如圖 2.2。

1. 讀取音檔

```
[data,fs]=audioread("drum.wav");  
%使用audioread函數讀取文件，此函數可支持WAVE、OGG、FLAC、AU、MP3和MPEG-4 AAC文件
```

2. 整理成simulink類比模擬電路可以讀取的訊號

```
%繪製波形圖  
[leng,~]=size(data);  
time = 1/fs * [0:leng-1]';  
channel=1;  
plot(time,data(:,channel));  
xlabel('time (s)');  
ylabel('訊號能量');  
  
x=data(1:fs*5,:);  
  
%將左右聲道存入自訂變數，以便simulink讀取之  
wave_L.time=[];  
wave_L.signals.values=[data(:,1)];  
wave_L.signals.dimensions=1;  
  
wave_R.time=[];  
wave_R.signals.values=[data(:,2)];  
wave_R.signals.dimensions=1;  
  
dr_L=wave_L;  
dr_R=wave_R;
```

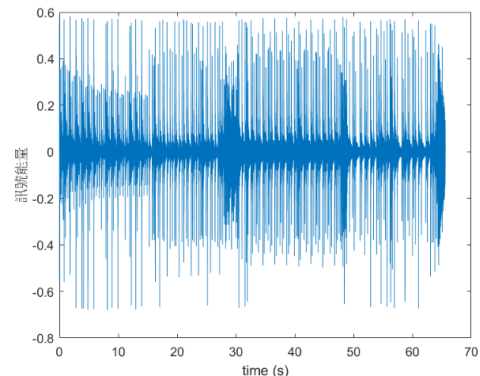


圖 2.1 讀取音檔程式碼

圖 2.2 訊號能量與時間圖

2-3 典型濾波器電路設計

開啟 simulink，至 library browser 工具尋找相關電子元件圖 2.3，library browser 為視覺化的模組庫瀏覽器，內有許多模組元件，運用此設計出研究頻率響應所需的濾波器。以下以前述之四種典型濾波器設計為例。

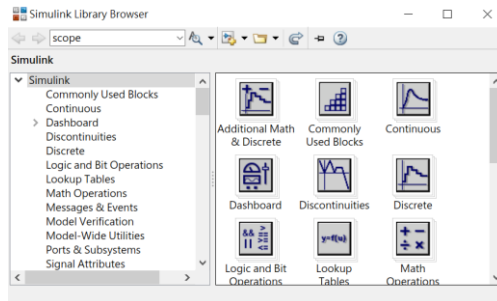


圖 2.3 library browser 工具介面

(1) 帶通濾波器

帶通濾波器為一並聯之諧振電路，拖拉 library browser 模組元件之電阻、電容、電感與電壓表 voltage measurement，連接成一帶通濾波器電路圖 2.4。電阻、電容與電感之數值，運用頻率響應公式，依據所需調整頻率計算之。

爾後運用 create subsystem from selection 將設計好之濾波器封裝成一模組圖 2.5，不僅可以增加視覺之美觀，往後進行修正時亦可輕鬆明瞭此模組之作用。

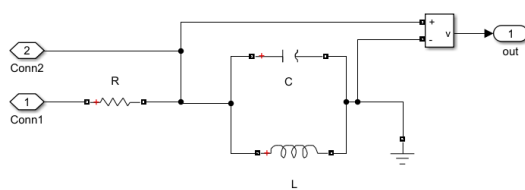


圖 2.4 帶通濾波器模組元件連接

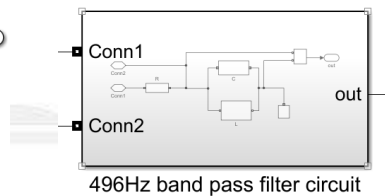


圖 2.5 模組封裝

(2) 低通濾波器

低通濾波器由電阻與電容組成，輸入至輸出之間連接電阻，分別經電容接地圖 2.6。電阻與電容之數值，運用頻率響應公式，依據所需調整頻率計算之。

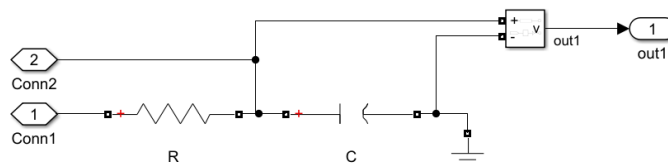


圖 2.6 低通濾波器模組元件連接

(3) 高通濾波器

與低通濾波器相同，皆由電阻與電容組成，唯有連接方式有所差異，如輸入至輸出之間連接電容，分別經電阻接地圖 2.7。電容與電阻之數值，運用頻率響應公式，依據所需調整頻率計算之。

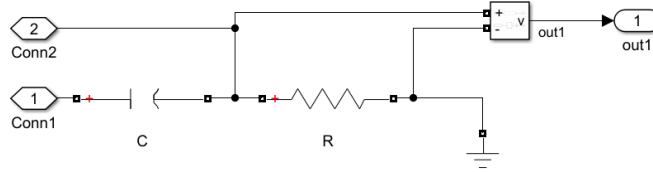


圖 2.7 高通濾波器模組元件連接

(4) 帶拒濾波器

與帶通濾波器相同，皆是由電阻、電容與電感電子元件所組成，不同之處為，帶拒濾波器為串聯諧振電路，因此應將元件重新串聯排列圖 2.8，數值同樣運用頻率響應公式，依據所需調整頻率計算。

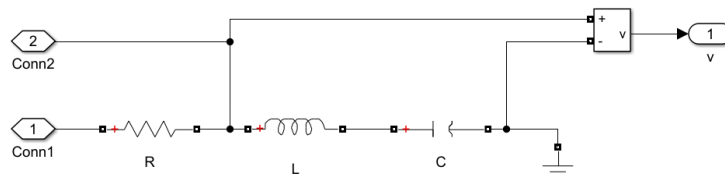


圖 2.8 帶拒濾波器模組元件連接

2-4 濾波器電路整合

所需濾波器設計完成後，藉由串連方式將各濾波器連接圖 2.9。將各濾波器連接波形顯示器 scope，可模擬音訊通過各濾波器之波形結果。輸出 out 端連接一緩衝器 buffer，使程式計算速度與音樂播放速度有個暫存區可以緩衝。

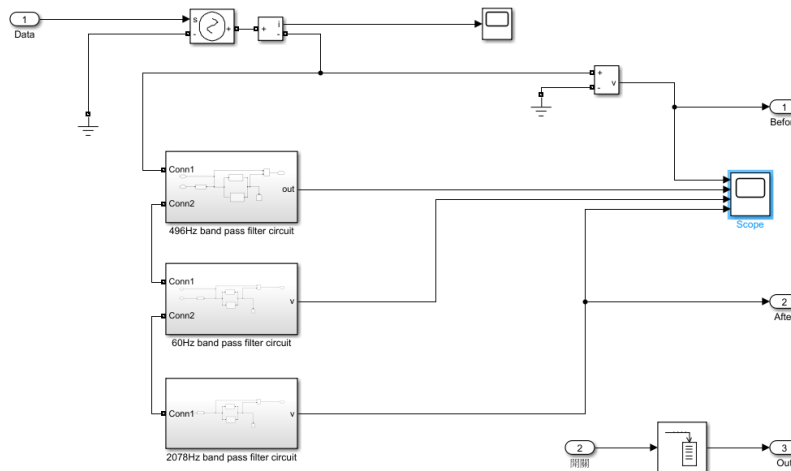


圖 2.9 串連設計之濾波器

2-5 左右聲道音訊合併輸出

若所匯入之音訊為雙聲道，通常須分別處理左、右兩聲道濾波器，可較為精準調整所需疊加之濾波器圖 2.10。將左、右聲道之濾波器設計調整完成後，將之封裝為模組，讓我們在視覺上更加潔便，往後修改檔案也可增加易讀性。

在各濾波器外，我們增加一 switch 開關，可以即時切換連接濾波器前後之音訊，方便比較聆聽輸出後之差異，以利進行即時的修改。

左、右聲道合併後，利用 vector 元件將其訊號合併回雙聲道，並連接 audio device write 與 to multimedia file，audio device write 可以即時聽到所輸出之音訊，而 to multimedia file 則可將音訊匯出成 wave 音訊檔案，個別儲存於電腦檔案中。

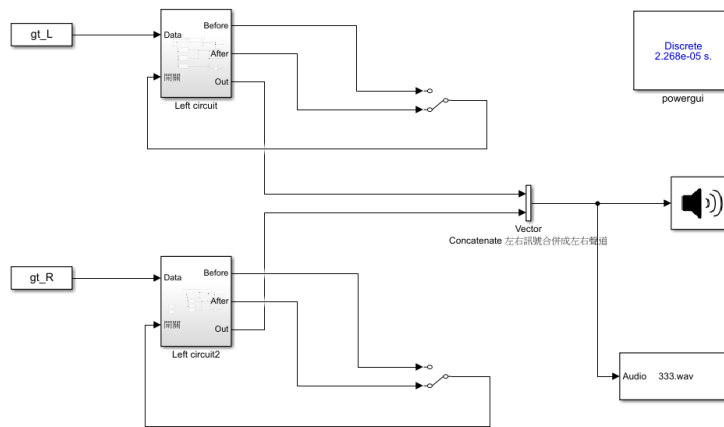


圖 2.10 左右聲道合併輸出

2-6 多軌音訊整合輸出

若需要將不同音訊結合，則可利用 sum 元件將所有須輸出之訊號合併。圖 2.11 結合一樂團基礎五種樂器配置組合，各樂器將左右訊號分離調整設計專屬之濾波器後再行輸出結合，並運用與左右聲道合併之方法輸出及撥放音訊，即可將許多音訊合而為一。

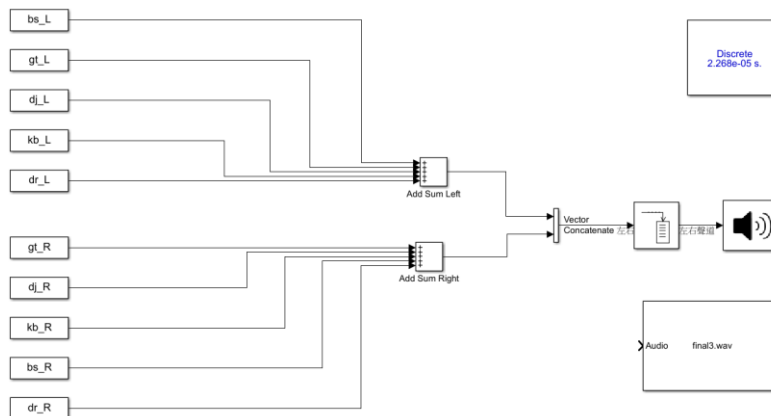


圖 2.11 將多軌音訊整合輸出

第三章 結果與分析

以匯入一過分修正之音訊為例子，串聯三個不同頻率帶通濾波器，以檢視設計結果。點選示波器 scope 元件，可以清楚看見濾波器串聯設計完成前後模擬之波形比較結果圖 3.1。

最突出之黃色波形為未串接任何濾波器的音訊波形，藍色波形串接中頻 496Hz 帶通濾波器，在圖中可見中頻部分波形明顯被濾波器壓低，且平均音量降低許多。後續串接低頻 60Hz 與高頻 2078Hz 帶通濾波器也相同，各分別壓低所選擇頻率，頻帶寬度與品質因素依據過分修正之音訊決定之。

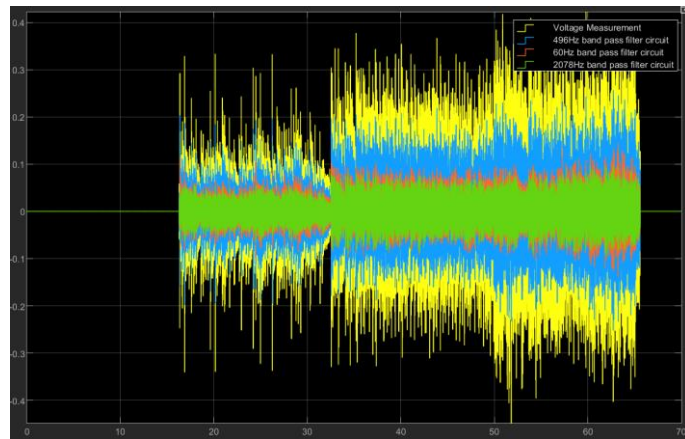


圖 3.1 輸出模擬波形圖

若將一樂團基礎五種樂器配置音訊匯入結合，每樣樂器連接 scope 元件產生模擬波形圖，可以此為基準分析所製作之結果。

以圖 3.2 為例，可清楚看見紫色波形 drum 樂器相較於其他樂器音量略小，可再次利用串接濾波器進行修正。而藍色波形 guitar 樂器，雖然波形較大，但整體像是被深埋在深處的感覺，吉他後方 solo 獨奏的部分想要不推音量就變明顯許多，絕對要從頻率調整下手，因為只要頻率調對聲音自然就不被吃到了，光推音量是很不智的舉動。

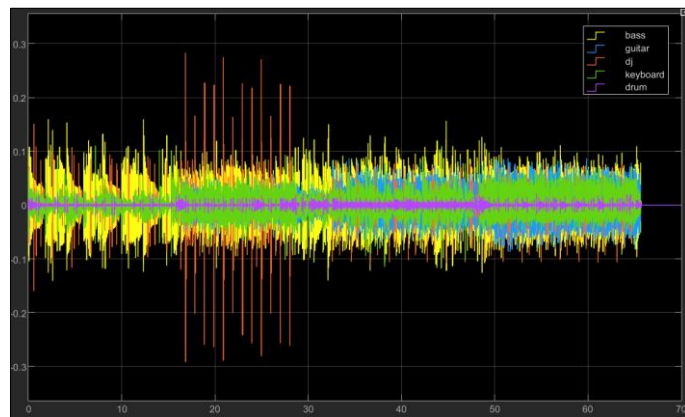


圖 3.2 樂團樂器結合波形

第四章 結論

我們可以從示波器 scope 元件上清楚看見，濾波器串聯設計完成前後模擬之波形來比較結果，也可將音訊重新匯出後實際聆聽比較頻率特性差異。串接濾波器的種類與數值選擇，依據個人經驗與想法可自由地呈現，藉由 simulink 軟體簡單的進行元件拖拉與計算，可以輕鬆的模擬頻率響應之問題。

這項 simulink 電子元件模擬應用，可以有效協助我們學習電路學，進行音訊研究者也可輕鬆實際進行分析與探討，且 simulink 軟體模擬應用也不僅限於濾波器頻率分析，還可進行許多模擬研究，例如訊號的選擇、提高功率的傳輸效率等專業應用。



參考文獻

- [1] 賴柏洲(2020)。電路學概論。臺北：全華圖書股份有限公司。

