

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1110045

學門專案分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：111/8/1 – 112/7/31

以問題導向學習(PBL)優化傅立葉分析之教學

課程:電路學(二)

計畫主持人(Principal Investigator)：王朝興 教授

共同主持人(Co-Principal Investigator)：無

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

國立彰化師範大學/電機系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：112/7/13

以問題導向學習(PBL)優化傅立葉分析之教學

摘要

傅立葉分析的應用非常廣泛且重要，對於大學二年級學生而言，傅立葉分析是一個頗為抽象難理解的數學理論，授課老師如何講解才能讓學生易於吸收了解一直是個挑戰，以往許多學生在學習過傅立葉分析之後，仍不甚理解或不熟悉其應用，進而影響後續進階課程的學習意願。為了解決此困境，本教學實踐研究以問題導向學習之教學法，針對不同主題設計生活可能遭遇的問題，讓學生從解決問題中學習理論、應用理論於問題解決，進而提升學生的問題解決能力，使學生突破以往僅熟練於傅立葉的數學解題，卻不知其廣泛的應用面。同時，本研究的問卷調查與統計分析也顯示PBL教學法能明顯改善學生對該課程的學習表現與學習興趣；整體來說，學生對於課程內容與教材的看法與滿意度介於普通與滿意之間；問題解決能力的問卷調查結果顯示前期、中期、後期的全班平均值皆呈現進步的現象。許多學生的心得回饋表示：藉由解決PBL問題的過程中，較容易了解傅立葉理論及濾波器的實際應用，較有真實感，而且解決問題帶來的成就感有助於學生的學習表現與學習興趣的提升，這結果與統計量化分析結果相吻合。

關鍵字：傅立葉分析、問題導向學習、問題解決能力、學習動機、學習表現

Abstract

The application of Fourier theory is extensive and important. For sophomores, Fourier analysis is a rather abstract and difficult mathematical theory to comprehend. It has always been a challenge for instructors to explain it in a way that students can easily absorb and understand. Many students in the past have struggled to comprehend or become familiar with its applications even after studying Fourier analysis, which subsequently affects their motivation to learn advanced courses. To address this dilemma, this pedagogical research adopts a problem-based learning (PBL) teaching method. It designs problems based on different topics that students may encounter in daily life. By solving these problems, students learn the theory and apply it to problem-solving, thereby enhancing their problem-solving abilities. This approach aims to break the pattern of students merely being proficient in solving mathematical problems related to Fourier analysis without understanding its broad range of applications. Furthermore, the questionnaire survey and statistical analysis conducted in this study also indicate that PBL teaching methods significantly improve students' learning performance and interest in the course. Overall, students' opinions and satisfaction with the course content and teaching materials is between average and satisfactory levels. The questionnaire survey on problem-solving abilities show a progressive improvement in the class's average values in the early, middle, and later stages. Many students' feedback indicates that through the process of solving PBL problems, they find it easier to understand the practical applications of Fourier theory and filters, which makes it more realistic. Moreover, the sense of achievement derived from problem-solving contributes to the enhancement of students' learning performance and interest, which is consistent with the results of statistical and quantitative analyses.

Keyword: Fourier analysis, problem-based learning (PBL), problem-solving ability, learning motivation, learning performance.

成果報告內文

一、 研究動機與目的

傅立葉分析(Fourier analysis)在電機系的諸多課程中是極重要的學習主題，例如在電路學、工程數學、電子學、通訊導論、訊號與系統、數位訊號處理、電力系統等皆有傅立葉分析理論簡介或應用的章節。在電路學(二)學習傅立葉分析(傅立葉級數與傅立葉轉換)可以了解不同頻率之電源對RLC電路輸出電壓或電流的頻率響應，是分析交流電路與訊號的重要工具。工程數學則是著重傅立葉解題運算與公式推導。而電子學在二極體整流電路的分析也會使用傅立葉分析來呈現整流後波形的頻率特性。電力系統的電力品質諧波分析也需要熟悉傅立葉分析。傅立葉光學則是將傅立葉分析應用在光學分析，形成通訊領域的新興學科。在訊號與系統及通訊導論中，傅立葉分析也佔有舉足輕重的分量，尤其是描述通訊系統的系統方塊圖常以傅立葉分析的頻譜來表示。

傅立葉分析的應用非常廣泛且重要，對於大二學生而言，傅立葉分析是一個頗為抽象難理解的數學理論，授課老師如何講解才能讓學生易於吸收了解一直是個挑戰。許多學生在學習過傅立葉分析之後，仍不甚理解或不熟悉其應用，進而影響後續進階課程的學習意願。

初學者面對傅立葉分析的學習大都是困難重重，王靜與李應岐(2019)發表的論文[1]中分析大學生學完傅立葉分析之後常有的疑問:為何會有傅立葉級數的產生? 傅立葉為何要用三角函數來展開?傅立葉分析有何應用? 學生會產生上述疑問的主要原因有:(1)傅立葉級數本質就是一種數學理論，其運算式充滿難以直觀理解的符號和概念，而能將傅立葉轉換的物理意義解釋得淺顯易懂的書籍非常稀少，所有正規的教科書大都解說公式與推導過程，使學習者難以理解。(2)授課老師在課堂教學中，沒有揭示出傅立葉分析的物理意義與實際應用，講授通常停留在從數學到數學的層面，也就是理論與實務沒有結合，沒有顯示出傅立葉轉換與我們的生活有何關係。(3)學生缺少對相關應用背景的瞭解，也就是說通過傅立葉級數得到的“頻譜”或“頻域”這些名詞，對學生而言是比較陌生的。

筆者於2020年曾對大三學生作一問卷調查，調查他們在大二時對於傅立葉分析的學習感受。調查結果如下: (問卷發出40份，回收25份)

表1、大學生對於傅立葉分析的學習感受問卷調查結果

題號	問題	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
		(%)				
1	老師第一次上到傅立葉分析時(電路學)，我覺得聽不太懂	20	36	36	8	0
2	上完電路學的傅立葉分析，我還是不清楚傅立葉分析可以應用在哪個領域?	0	52	36	12	0
3	學完電路學的傅立葉分析，我知道如何用積分公式解出傅立葉分析的題目。	12	32	40	12	4
4	我覺得傅立葉分析很抽象，不太好理解。	12	48	32	8	0
5	自己看傅立葉分析(講義或課本)，也看不懂。	8	32	36	16	8
6	在上傅立葉分析時，老師講述運算過程時我還是聽不懂。	8	20	48	20	4
7	現在我把傅立葉分析已經忘得差不多了。	12	28	24	24	12
8	老師應該改變講授傅立葉分析章節時的方法或教材，才能改進學生學習	16	28	56	0	0

	成效。					
9	當初修電路學的傅立葉分析時，我大都靠自己研讀，老師講課的幫助並不大。	8	20	48	24	0
10	老師講授傅立葉分析時，應著重在如何應用傅立葉分析，不應只是解題技巧而已。	20	36	32	12	0
11	在課程所學習的傅立葉理論基礎中，我有了解到傅立葉與訊號和系統的關聯性	16	32	36	16	0
12	在學習傅立葉分析最大的優點是在時域看似不可能做到的數學操作，在頻域反而很容易，您同意這個理論嗎？	32	60	4	4	0

從調查結果可以歸納出以下問題(將「非常同意」與「同意」的百分比合併)，其產生問題與解決方法列於下圖(圖 1)所示。

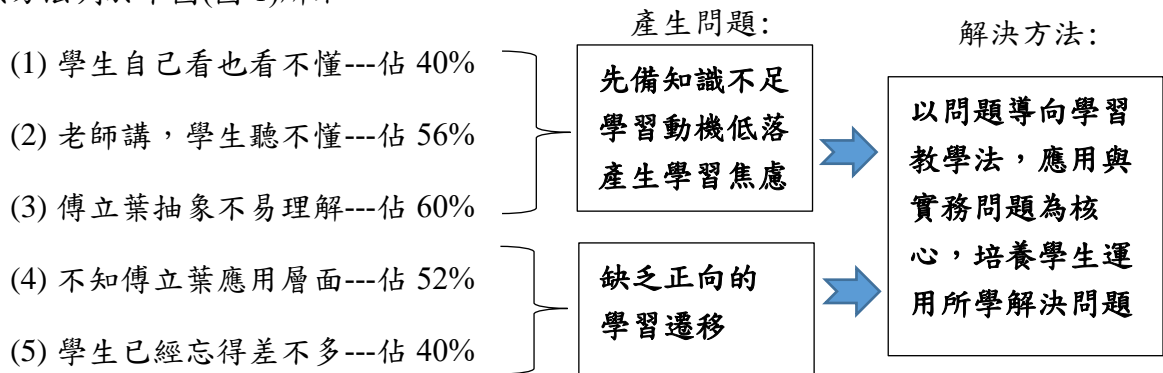


圖 1、學生學習傅立葉分析之困境與產生的問題及所擬解決方法

筆者也曾經針對四年級學生做「電機系四年中最難學的主題」問卷調查，結果顯示難度依序如下：

- (i). 傅立葉分析-佔 72.7%
- (ii). 馬克斯威爾方程式-佔 63.6%
- (iii). 拉普拉斯轉換-佔 36.4%

在問卷調查的文字回饋中，大四學生對於學習傅立葉分析之後的心聲如下：

- 我覺得講課可以再慢些，或者是多重複講幾次，看看同學有沒有聽懂，...，只是我們可能不會當天回去就再把內容複習過一遍，所以下次來可能就忘記了，有一部分其實也是我們的問題
- 解題技巧固然重要，但沒有跟其他地方建立連結，仍然不懂傅立葉，我是等其他課（例如訊號與系統）才知道傅立葉的內容，而不是數學的算式而已。
- 建議可以教完一部分的解題技巧，再用簡單的訊號或電路的實際例子運用剛剛教的技巧去建立連結，去告訴學生為什麼要用傅立葉分析這個工具，而不是只是計算。
- 希望老師更深入的探討傅立葉的意義
- 傅立葉算是比較重要的東西應該要花比較多時間說明，建議可以省略前面其他章節計算題目的時間挪到後面說明傅立葉。

此外，由於學生對傅立葉分析學習動機低落、不知其應用層面、容易學過即忘的困境，筆者擬提「以問題導向學習(Problem-based Learning, PBL)優化傅立葉分析之教學」，以應用與實務問題為核心，讓學生從小組討論中思考如何解決老師所提的情境問題，激發自行搜尋資料與研讀相關資料，加深知識印象，小組討論中亦可學習溝通與互助合作，藉此激勵學生學習表現與學習興趣，引導學生運用所學理論解決問題。

二、 研究問題

電路學(二)課程中傅立葉分析是讓學生最感焦慮、容易放棄、不知所云的章節，然而傅立葉分析在後續諸多科目中是極關鍵的基礎原理，所以冀望藉由本計畫之執行，以應用與實務的問題為核心，以 PBL 教學法引導學生如何利用傅立葉理論解決問題。故本研究目的(問題)簡言之如下：

1. 探究 PBL 教學法對提高學生學習傅立葉分析之問題解決能力 是否有實質幫助
2. 探究 PBL 教學法對提高學生學習傅立葉分析之課程內容滿意度 是否有實質幫助
3. 探究 PBL 教學法對降低學生學習傅立葉分析之學習動機 是否有實質幫助
4. 探究 PBL 教學法對降低學生學習傅立葉分析之學習表現 是否有實質幫助
5. 探究 PBL 教學法對提高學生學習傅立葉分析之學習興趣 是否有實質幫助

本計畫「以 PBL 優化傅立葉分析之教學-以電路學課程為例」係與敝校高教深根計畫「落實教學創新」之理念結合，其目的是在「改善教學品質與提升學生學習成效」的基礎上，落實教學創新及提升教學品質、活化授課方式。

三、 文獻探討

1. 傅立葉分析教學優化

傅立葉分析教學一直是工程教育中重要的一環，也是分析訊號的重要理論之一，生活中諸多儀器或設備都有應用傅立葉分析，例如音響等化器、混頻變聲、美顏照片、樂器調音校對器等等，跟我們的生活息息相關，然而許多教科書編寫都非常嚴謹，著重理論推導與運算，導致原本很有趣的傅立葉分析變成很嚴肅的章節。如果老師上課僅就教科書章節依序照本宣科講述，恐造成師生雙輸，所以諸多學者提出各種優化傅立葉分析教學的研究論文[2-3]。

葡萄牙 Trás-os-Montes e Alto Douro 大學之學者 *Manuel Cabral Reis(2014)* 等提出利用手機 APP(安卓系統的 FouSE)協助傅立葉分析之教學[4]，讓學生易於理解方波、鋸齒波、三角波等週期波是如何由不同頻率的諧波組成，此 APP 的螢幕中可以設定諧波的基本頻率與個數，及想要趨近的波形(方波、三角波、鋸齒波)，然後螢幕中顯示出組合而成的方波、三角波、鋸齒波的趨近波形與理想波形。這種視覺化圖形化的教學方式對於學生理解傅立葉分析幫助很大，此篇論文中指出 98%學生認為此 APP 有助於他們了解傅立葉級數的基本概念。

新加坡理工大學的 K. H. Cheong 教授(2018)提出虛擬實驗設備輔助傅立葉分析教學[5]，此虛擬實驗設備可以實踐傅立葉級數分析、傅立葉轉換分析、傅立葉光學分析，是以 Java 軟體完成設計，此虛擬設備有助於學生了解傅立葉分析。

Jiang En-hua 等作者(2017)提出數位訊號處理之傅立葉轉換的教學研究[6]，作者以 C 語言設計實現離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)與快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)之理論，並分析拆解方波與弦波(諧波)之關係，對學生理解傅立葉分析有相當助益。

羅忠濤(2018)提出針對抽象且難理解的傅立葉轉換[7]，運用多元化方法進行教學改革設計，其採用 Matlab GUI 軟體設計程式，設計傅立葉轉換實驗教學微課程，進

行翻轉教室優化傅立葉轉換之教學。通過多元化教學法，激勵學生自己動手輸入任意信號然後作傅立葉分析實驗，提升學生對傅立葉變換原理和概念的理解，有利於學生對傅立葉轉換的後續學習和實際運用能力。

王科(2010)提出在傅立葉級數的教學中，為了深化教學改革，提高教學品質，以 Matlab/Simulink 為模擬平臺，在課堂上講解傅立葉級數的展開方法及實驗演示波形的產生和疊加，如此更能幫助學生理解傅立葉分析的概念[8]。

以上諸多研究皆以電腦或手機軟體拆解波形，使其圖像化讓學生易於理解傅立葉分析的理論，但對於其應用層面卻少觸及，所以本計畫將設計一系列與傅立葉理論或先備知識相關的實務問題，作為學生學習傅立葉分析之引導。

2. 問題導向學習(Problem Based Learning, PBL)

問題導向學習(Problem Based Learning, PBL)是一種促進自主學習的方式，「以學生為中心」，「以問題為教材」，學生以組為單位，透過討論來解決問題，此種學習方式可以促使學生運用自己的判斷力、創造力、批判思考能力以及整合資訊能力的新興教學方式(梁繼權，網路資料[9])。Vernon D.T. [19]針對「基於問題的學習(PBL)是否有效？」進行研究與評估，他們彙整 1970-1992 年所有 PBL 的評估性研究，將 PBL 教學法與傳統教育方法做比較，發現 PBL 在學生對課程的態度與意見，及學生表現測量值有顯著優越性。

PBL 主要目標是建構一個能靈活運用的廣泛知識基礎，發展有效的問題解決能力，培養自主學習與終身學習的習慣，成為能在團體中與他人共同合作與學習的人，成為一位有自發性學習動機的學習者(Barrows 與 Kelson, 1995 [10])。而 PBL 的特色之一是小團體學習或小組學習，所探究和討論的問題主要是學生未來專業範疇或生活中可能遭遇的情境或問題，PBL 教學法執行過程中，傳統講述的比重佔比較低，主要強調成員的合作與互動討論、團隊的自主與自我評估；老師扮演資源提供者、引導者、評估者、資訊回饋者，以及認知學習技巧訓練者的角色(Boud 與 Feletti, 1997 [11]; Burch, 2001 [12])。PBL 施行步驟以腦力激盪的方式蒐集全班學生意見，教師向學生提示問題探究的參考架構，在教師的引導、鼓勵下，學生分組探討問題，發表解決問題的方案並解決問題。

涂卉與雷漢聲(2016)[13]發表論文指出過去諸多研究探討在 PBL 教學模式下，學習動機對學習滿意度的影響，但對於學習成效的影響相對較少，該論文以弘光科技大學 104 學年度文化創意產業系大學部學生為樣本進行問卷調查，研究結果發現：(1)如果學生具備學習價值動機與內部動機愈高，則學習滿意度愈高，特別是在學習價值動機方面；(2)強化學生的外部動機雖能增加學習滿意度，相較於內在動機與學習價值動機而言，外在動機對學習滿意度之影響效果較小。(註：內在動機是指內心的需要，例如追求自我，覺得生命有意義、學習與成長的喜悅。外在動機：例如獲得獎學金獎勵、獲得好評與名次)

簡婉容(2020)之研究論文中探討 PBL 的學習動機與學習成效之差異相關情形[14]，將學習成效分為五構面，問題解決、後設認知、團隊合作、創意思考、溝通協調；學習動機分為三構面，內在動機、外在動機、自我效能。研究結果發現 PBL 的學習動機與學習成效具有正相關。該研究結論與涂卉與雷漢聲(2016)相同。

張培華(2018)以某科大電子系大三學生在課程「全客戶積體電路佈局設計與實習」中以 PBL 教學法[15]，探究教材設計與實施之行動研究過程，以質、量性工具蒐集資料並進行分析。研究過程中經歷三次教材設計與修正，亦發現學生學習態度與能力是影響教材實施的重要因子，以及學生對教材修正後的學習有較好回應。該論文與本研究計畫欲改革傅立葉分析教學相似，希望藉由改革教學法與以實務問題為教材提升學生學習動機，該論文也指出學生學習態度會影響計畫是否能順利執行，末學近幾年持續教學改善並執行教學實踐研究計畫，對於學生學習態度的提升已有些經驗，因此希望 PBL 教學法的導入能確實優化傅立葉分析教學。

近年來，大學生的學習態度逐漸趨向消極應付，導致電機等工程相關科系之學生的數理基礎及邏輯思考能力欠缺，以致遭遇困難即消極退縮而導致學習興趣低落，工程相關科系所有科目都是為解決工程問題而學習的專業知識或基礎知識，除了理論與公式推導之外，都有結合實務與應用的另一面，因此楊介仙教授(2019)以問題導向及專案導向為核心之引導式教學法，引導學生透過難度循序漸進地解決軟硬體實務技術問題[16]，學生可因問題的解決、專案的討論後，建立信心及成就感進而提升學習興趣，達成學生對車輛電子、電機、軟硬體及機電整合實務技術之深入學習與終身學習的教學目的。

四、教學設計與規範

1. 教學目標

本課程電路學(二)之教學目標訂定為讓學生修習本課程後能確實了解單相與三相交流電路之時域與頻域的分析、功率之計算，與熟悉使用 Pspice 軟體分析電路，明瞭傅立葉分析的理論，能將時域訊號轉為頻域之能力，具有應用所學於生活中解決問題的能力。

2. 教學方法

本研究計畫採用的 PBL 教學法，是透過問題或情境誘發學生思考，互相討論，並建立學習目標，自主研讀與收集資料，然後小組討論後共同提出解決方案。PBL 教學法的步驟有許多不同版本，末學依據參考文獻(涂卉 2016 [13])及考量傅立葉分析教學特性，將步驟加以修改如圖 2。

(a). 說明 PBL

進行 PBL 教學法之前，需先跟學生說明本課程將進行教學實踐研究，請同學簽意願書，並說明如何分組，及希望同學配合之處，例如 PBL 課程中希望學生應具備的態度與注意事項，例如：團隊合作、互動討論、傾聽、紀錄、尊重組員意見、小組長需主持團隊學習活動、上台報告等等。分組方式則採自由分組，以 2-4 人為一組，並選出一位小組長，及一位記錄人員，小組長負責推動小組討論，記錄人員則將小組討論過程進行紀錄。課程進行中，小組長的積極參與及所記錄的事項攸關 PBL 成功否，因此老師應時時觀察並追蹤各小組的進展，並給予適時的引導。

(b). 老師提出情境或問題

所設計的 PBL 情境題或問題應符合課程重要單元的課程目標，且應符合學生的背景知識。末學依據程慧娟所著問題導向學習法一文之設計 PBL 問題的原則來訂定情境

問題[17]，原則如下：

PBL 的問題應該與課程的階段性目標與學生理解能力相匹配

PBL 的問題應該符合學生學習興趣或者與未來工作相關

PBL 的問題應該含有能夠激發討論的要點，鼓勵學生尋求解決方法

PBL 的問題應該能夠提高學生的參與度，投入討論

(c). 小組腦力激盪並擬定討論議題

小組依據老師所提之情境問題進行了解與討論，對焦議題與獲取小組共識。

(d). 老師講述基礎理論

小組腦力激盪時，老師可觀察各組討論情況，決定要講述的基礎理論方向與範圍，作為下一次小組討論時的討論基礎，同時協助小組釐清情境問題。

(e). 小組擬定學習目標

經過二次小組討論之後，可以確定為解決情境問題所需學習的知識技能作為學習目標，包括熟悉基礎理論、所需的電路設計或程式設計。

(f). 老師確認學習目標適切否

老師確認各小組所擬定的學習目標是否有偏差，並予以引導。

(g). 課堂後進行

下課之後，小組需自行收集、研讀、分享相關資料，再進行小組討論以確定解決方案，並進行電路設計或程式設計，撰寫成結果報告。

(h). 小組上台報告與互評

第二週課堂時，小組進行報告與互評，老師給予指導(結束)。

PBL 教學步驟：

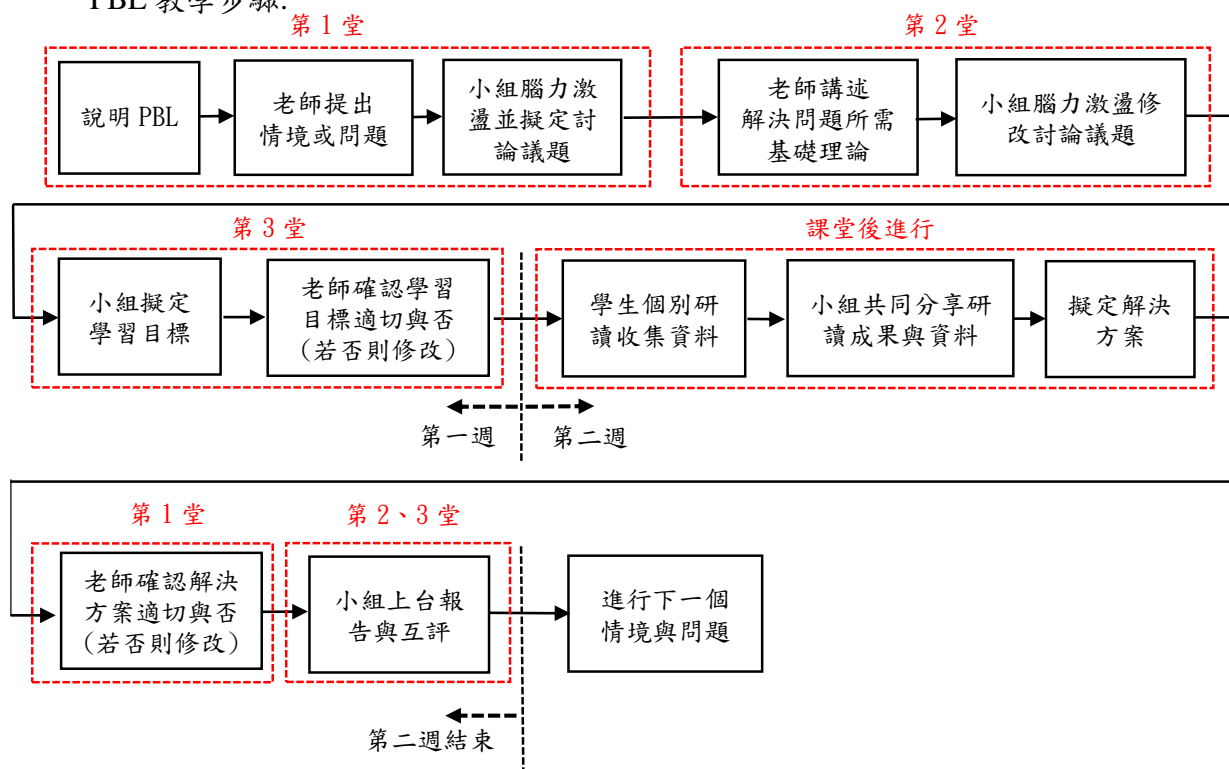


圖 2、本計畫所擬 PBL 教學法的步驟

末學擬建構以 PBL 為基礎設計適合傅立葉分析之情境問題教材，分為四個單元：(1)時域與頻域 (2)濾波器 (3)傅立葉級數 (4)傅立葉轉換，每個單元設計 2-3 個情境問題，如圖 3 所示，由淺入深，因為濾波器與傅立葉分析非常相關，故也納入單元之一，老師擬講述各單元的內容與 PBL 問題皆有相關，問題難易適中，且與生活相關，能激起同學討論的問題或情境。

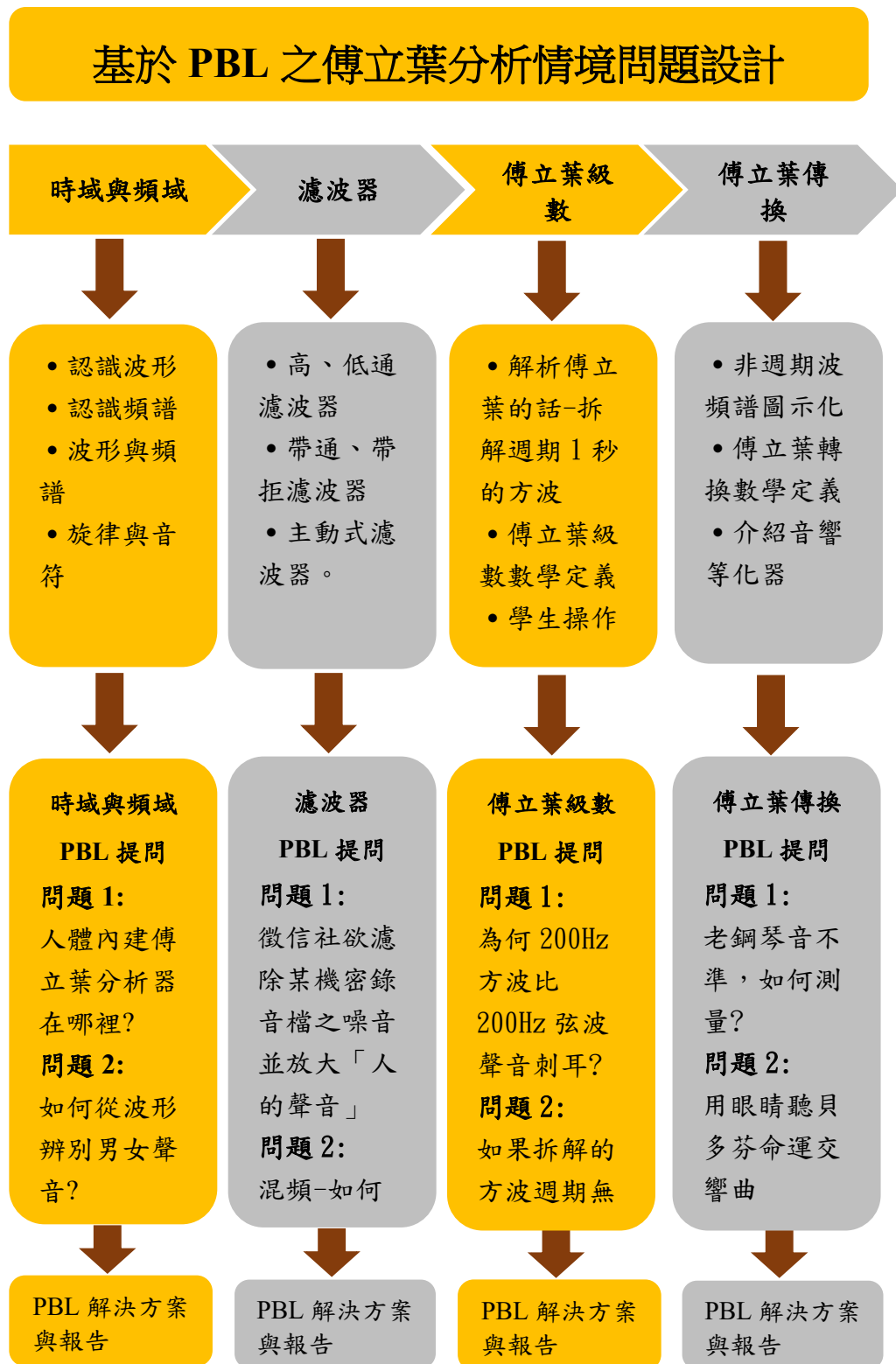


圖 3、基於 PBL 之傅立葉分析情境問題設計

3. 課程進度

本研究計畫課程教材設計由淺入深，從分析單相交流電路認識交流電波形與頻譜開始，然後進入三相電路、拉普拉氏轉換與濾波器，引導的概念及 PBL 的情境題都是為了學習傅立葉分析而鋪陳，學生須先熟悉用頻譜了解波形或訊號，再進入傅立葉分析的課程以了解頻譜是如何計算出來的。各週課程進度安排如下表。

表 2、各週課程進度

週次	課程內容
第 1-2 週	弦波穩態分析、功率計算、LTspice 教學
	PBL Q1:我每天用的電長什麼樣子?
	PBL Q 2:估算我一天用多少度電?
第 3-4 週	三相電路分析、三相功率計算、YY、Y Δ 、 Δ Y、 $\Delta\Delta$ 分析
	PBL Q 1:三相馬達知多少? 扭力強而穩?
第 5-6 週	拉氏轉換與逆轉換、極點位置與系統穩定之關聯、極值與初值定理、轉移函數
	PBL Q 1:從轉移函數判斷系統穩定嗎?從頻譜看震盪頻率
第 7-8 週	拉氏轉換應用於電路分析、迴旋積分
	PBL Q 1:探討拉氏轉換與頻譜的關係
第 9 週	期中考
第 10-11 週	時域與頻域:認識波形與頻譜、音頻產生器與頻譜產生器
	PBL Q 1:人體內建傅立葉分析器在哪裡?
	PBL Q 2: 如何從聲音波形辨別男女聲音?
第 12-13 週	主被動濾波器原理與設計
	PBL Q 1:徵信社欲濾除某機密錄音檔之噪音並放大人的聲音
第 14-15 週	週期波之傅立葉級數:拆解方波原理與操作 FouSE(手機 APP)
	PBL Q 1: 200Hz 方波會驚嚇到馬或狗，但 200Hz 弦波聲音不會，WHY?
	PBL Q 2: 拆解的方波週期是無限大會如何?
第 16-17 週	非週期波之傅立葉轉換、介紹音響等化器
	PBL Q 1: 失聰的貝多芬如何用手机與板手調音一台老鋼琴?
	PBL Q 2: 如何的眼睛聆聽命運交響曲?
第 18 週	總結與期末考

4. 成績考核

成績考核則以期中考、期末考、小考、出席率、報告與互評為依據，各項占比如下圖所示：

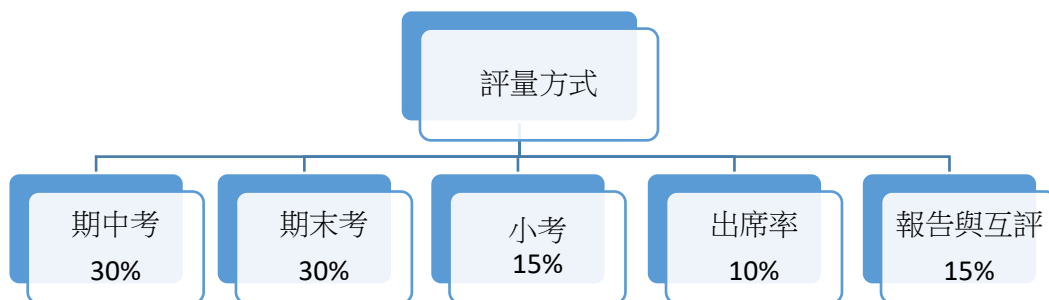


圖 4、評量方式配分比例圖

五、 研究設計與執行方法

1. 研究架構

本計畫採行動研究，隨時掌握學生意見，滾動式微調，研究架構如下圖所示，其中「資料分析」將探討(1)基於 PBL 教學法對學生問題解決能力之影響 (2)PBL 教學法對學生之學習動機、學習表現、學習興趣的影響。過程中以行動研究的方法進行迴圈式的收集學生意見、進行調整與改善，以挖掘教學實踐過程中學生遭遇之難處或不願配合之原因，並加以克服或改善。學習動機、學習焦慮、問題解決能力之量表問卷結果皆會進行前後測，作為量化資料以進行統計分析成對-t 檢定，質性資料則蒐集每週師生晤談記錄、教師教學反思日誌、學生提案之 PBL 解決方案、學生互評紀錄以進行質性分析。

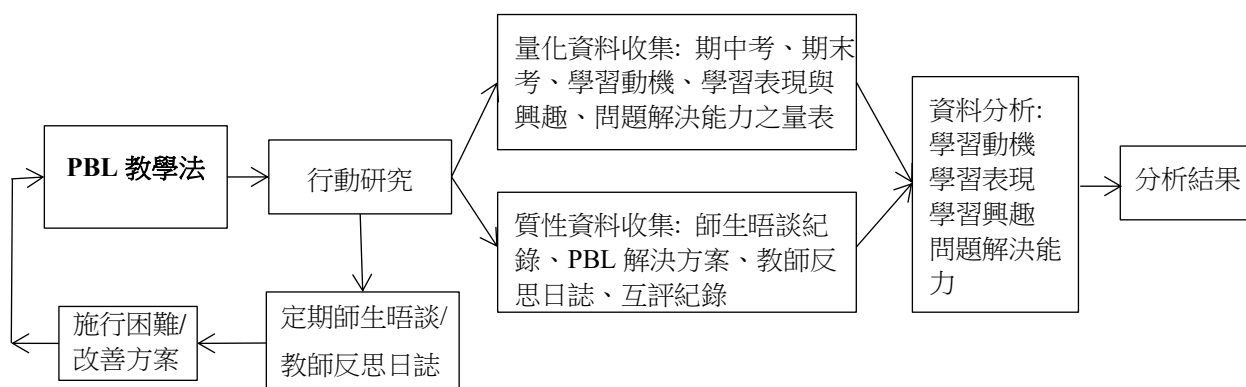


圖5、本計畫研究架構圖

2. 研究範圍

本研究計畫實施是搭配「電路學(二)」之課堂，本課程教材乃參考 Nilsson/Riedel Electric Circuits 第 11 版原文書。將使用的資源包含末學的實驗室雲端硬碟或學校的雲端學院存放上課錄影檔與數位教材檔案、組成 Line 群組聯繫同學提升向心力與互相激勵、利用 google 表單進行教學即時回饋、手機 APP 輔助教學、LTspice 軟體輔助教學。評量學生的方法則有期中考、期末考、小組討論、PBL 題案的解決方案、上台報告互評、出席率。而教學研究的評量則包括 ARCS 學習動機量表、學習焦慮量表、問題解決能力、學習成效評量。

3. 研究對象與場域

研究對象乃電機二年級上學期學生，採自由意願參加，有意者填寫參加研究意願書。此班學生即目前的一年學生，共 42 位學生(女生 7 位、男生 35 位)。場域則利用學校一般平面教室上課，可容納 60 人，配有黑板、電腦、投影機與布幕、音響

4. 研究方法與工具

本計畫採用行動研究法，會依據師生晤談、教師教學反思日誌、學生即時回饋 google 表單等訊息，藉由螺旋式的步驟調整教學實踐計畫執行模式，使 PBL 教學法能順利進行，並改善教學品質，本計畫採用的行動研究法(Elliot, 1991 [18])有五步驟:計畫-行動-觀察-反省-修正。研究工具則包含課程內容與教材的看法與滿意程度問卷、課程學習面向問卷、學習動機量表、學習表現量表、學習興趣量表、問題解決能力量表、學

期成績、小組互評、師生晤談紀錄、老師教學反思日誌。

六、教學暨研究成果

1. 學生對於課程內容與教材的看法與滿意度

課程最後一週進行問卷:學生對於課程內容與教材的看法與滿意度的調查，此問卷調查的問題不適合尚未進行教學實踐之前進行，故沒有實施前測，僅有後測結果如表 3 所示(採五點量表)。結果顯示學生對於該課程的教材內容能因應時代需求而調整與更新、教材內容難易度適中、課程內容能符合學生的能力與程度給予較高的肯定。表 3 顯示各題平均分數從 3.73 至 3.19，相當於同意與普通之間

表 3、學生對課程內容與教材的看法與滿意程度表現

題目	平均數	標準差	排序
1.該堂課程的教材內容能因應時代需求而調整與更新。	3.73	0.92	1
2.該堂課程的教材內容難易與份量適中包含教科書、講義、參考書等。	3.65	1.02	2
3.該堂課程內容能符合我的能力與程度。	3.62	0.85	3
4.該堂課程主題在學期安排有前後連貫的體系。	3.58	0.81	4
5.該堂課程內容與或活動能切合該堂課的教育目標。	3.46	1.10	5
6.該堂課程內容能符合我的學習需求。	3.46	1.17	6
7.該堂課程內容能引起我的學習動機。	3.19	1.13	7

同時，從圖 6 的調查結果中顯示:學生認為該課程強調的學習面向是偏向分析、應用、與綜合統整，較少強調記憶，這與本課程期待的教學面向是相符合的。



圖 6、學生認為課程強調的學習面向

*強調記憶，例如熟記教科書內容或實驗程序。

*強調分析，例如解構複雜問題或深入分析一個概念。

*強調綜合、統整，例如結合不同概念和理論來形成新的解釋。

*強調評價、判斷，例如評價一個報導中資料分析的合理性或研究方法的適當性。

*強調應用，例如應用理論或概念來解決實際問題或新的問題。

2. 學習動機

學習動機問卷(如表 4)分別於學期初與學期末調查進行前後測，以成對樣本 T 檢定分析，分析結果如表 5。從顯著性的數值都沒有小於 0.05 的結果表示，本教學法對於學生的學習動機並無顯著影響，若從平均值來觀察亦無明顯改善。全班人數雖有 42 人，但因為部分學生沒有填寫前測或後測，所以在進行成對樣本分析時，僅有 22 對前後測完整的資料，所以分析的樣本數是 22 個。

表 4、學習動機問卷

題組	題目
學習動機 1	我修讀本課程的原因之一是因為它很有挑戰性。
學習動機 2	雖然有時學習本課程會有挫折，但我會繼續堅持下去。
學習動機 3	不管別人如何競爭，我認為這堂課有學到知識才是最重要的。
學習動機 4	這堂課即使遇到我不喜歡的課程內容，上課時仍會專心聽講。
學習動機 5	我比較喜歡能引起我好奇心的授課內容，即使這些內容難以學習。
學習動機 6	在課程的學習中，取得好成績對我來說是最有成就感的。
學習動機 7	在本課程中，我覺得分數不代表什麼，真正學到什麼才是最重要的。

表 5、學習動機之前後測成對樣本 T 檢定分析結果

題組	前/後測	樣本數	平均數	變異數	T 統計量	顯著性
學習動機 1	前測	22	3.0909	0.9437	0.6167	0.2720
	後測	22	2.9545	0.9026		
學習動機 2	前測	22	3.9091	0.7532	-0.7196	0.2399
	後測	22	4.0455	0.4264		
學習動機 3	前測	22	4.0455	0.7121	0.0000	0.5000
	後測	22	4.0455	0.5216		
學習動機 4	前測	22	3.7727	0.7554	0.7774	0.2228
	後測	22	3.5909	0.7294		
學習動機 5	前測	22	3.6818	0.7987	-1.1278	0.1361
	後測	22	4.0000	0.4762		
學習動機 6	前測	22	4.2273	0.5649	0.2526	0.4015
	後測	22	4.1818	0.5368		
學習動機 7	前測	22	3.3636	1.4805	-0.7196	0.2399
	後測	22	3.5000	1.3095		

3. 學習表現

學生在課堂上的學習表現問卷(如表 6)分別於學期初與學期末調查進行前後測，以成對樣本 T 檢定分析，分析結果如表 7。從表 7 的顯著性的數值中，學習表現 2(我有信心能如期完成老師規定的作業)、學習表現 6(我有信心在本課程的作業與考試表現優異)、學習表現 8(我有信心這堂課中我會得到優異成績)，這三項的顯著性皆小於 0.05，表示具有顯著性的影響。證明本教學法對於學生在作業、小考、學期成績表現的信心具有顯著改善。

表 6、學習表現問卷

題組	題目-前測	題目-後測
學習表現 1	我有信心自己這堂課都不會無故缺席也會準時上課。	我自認我在這堂課都沒有無故缺席也會準時上課。
學習表現 2	我有信心能如期完成老師規定的作業。	我自認我在這堂課都有如期完成老師規定的作業。

題組	題目-前測	題目-後測
學習表現 3	我有信心自己會積極在課堂上發言或參與討論活動。	我自認我在這堂課都有積極發言或參與討論活動。
學習表現 4	我有信心可以學會本課程所教的基本觀念。	我自認我在這堂課都有學會本課程所教的基本觀念。
學習表現 5	我有信心能了解老師在本課程裡所教的最複雜的內容。	我自認我在這堂課都有了解老師在本課程裡所教的最複雜的內容。
學習表現 6	我有信心在本課程的作業與考試表現優異。	我自認我在這堂課的作業與考試都有表現優異。
學習表現 7	我有信心我能精通本課程所教的技能或技巧。	我自認我在這堂課都有精通本課程所教的技能或技巧。
學習表現 8	我有信心這堂課中我會得到優異成績。	我自認我在這堂課中我會得到優異成績。
學習表現 9	考慮這堂課的困難程度、老師、和我個人的技巧，我想我會表現良好。	考慮這堂課的困難程度、老師、和我個人的技巧，我自認我在這堂課表現良好。

表 7、學習表現之前後測成對樣本 T 檢定分析結果

題組	前/後測	樣本數	平均數	變異數	T 統計量	顯著性
學習表現 1	前測	22	4.1364	0.6948	0.4629	0.3241
	後測	22	4.0455	1.4740		
學習表現 2	前測	22	4.0455	0.7121	-2.1093	0.0235*
	後測	22	4.5000	0.6429		
學習表現 3	前測	22	3.4545	0.8312	0.0000	0.5000
	後測	22	3.4545	1.1169		
學習表現 4	前測	22	3.5909	0.7294	0.2526	0.4015
	後測	22	3.5455	0.9264		
學習表現 5	前測	22	3.0909	0.9437	-1.5467	0.0684
	後測	22	3.3636	1.3853		
學習表現 6	前測	22	3.2727	0.9697	-1.7794	0.0448*
	後測	22	3.5909	0.9199		
學習表現 7	前測	22	3.1818	1.0130	-0.7196	0.2399
	後測	22	3.3182	1.2749		
學習表現 8	前測	22	3.2727	0.7792	-4.1833	0.0002***
	後測	22	3.7273	1.0649		
學習表現 9	前測	22	3.5000	0.5476	-0.2244	0.4123
	後測	22	3.5455	0.9264		

顯著性代碼： '***': < 0.001, '**': < 0.01, '*': < 0.05, '#': < 0.1

4. 學習興趣

學生在課堂上的學習興趣問卷(如表 8)分別於學期初與學期末調查進行前後測，以成對樣本 T 檢定分析，分析結果如表 9。從表 9 的顯著性的數值中，學習興趣 2(我對於本課程了解的程度)，此項的平均值增加且顯著性小於 0.05，表示具有顯著性的影響，

證明本教學法對於學生對課程的了解程度具有顯著改善。但是學習興趣 3(我對於本課程學習動機的程度)，則是平均值降低，表示學生的學習經驗感受降低。

表 8、學習興趣問卷

題組	題目-前測	題目-後測
學習興趣 1	請問您認為自己目前對於本課程感興趣的程度。	快上完這堂課程，我對於本課程感興趣的程度。
學習興趣 2	請問您認為自己目前對本課程了解的程	快上完這堂課程，我對於本課程了解的程
學習興趣 3	請問您認為自己目前對本課程學習動機的	快上完這堂課程，我對於本課程學習動機的
	程度。	程度。

表 9、學習興趣之前後測成對樣本 T 檢定分析結果

題組	前/後測	樣本數	平均數	變異數	T 統計量	顯著性
學習興趣 1	前測	22	7.0455	2.0455	1.4746	0.0776
	後測	22	6.3636	5.5758		
學習興趣 2	前測	22	5.8182	4.0606	-3.7603	0.0006***
	後測	22	7.1364	4.7900		
學習興趣 3	前測	22	6.7273	3.6364	1.8825	0.0369*
	後測	22	5.9091	5.3247		

顯著性代碼： '***': < 0.001, '**': < 0.01, '*': < 0.05, '#': < 0.1

5. 解決問題能力

評估 PBL 教學法對於學生的問題解決能力是否有幫助，課堂中進行前、中、後三次問題解決能力問卷施測，該問卷是取自潘怡吟所提出之問題解決能力量表(李克特五點量表)。此量表有 30 道題(如附件)，有經過預試、資料分析、修訂，量表的信度 Cronbach α 值為 0.849。

下方長條圖是該問卷 30 道題之全班學生平均值，分成前中後期三次平均值，圖中顯示大部分題目皆呈現前中後持續進步，唯有第 16、17、19、24、27 題的前中期沒有進步，而所有道題的後期皆是最高值，顯示經過一學期 PBL 教學對學生問題解決能力明顯提升。

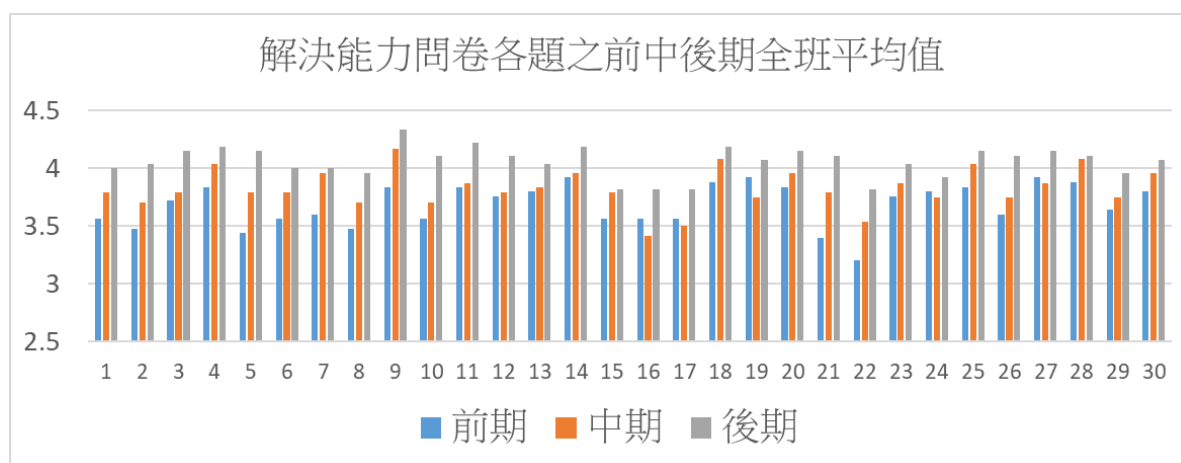


圖 7、學生的問題解決能力前中後期全班平均值

6. 學習成效

該班(111 學年)的期末考成績與前一屆(110 學年)未實施教學實踐研究計畫的班級比較結果如下，此二班之期末考題難易度相仿。

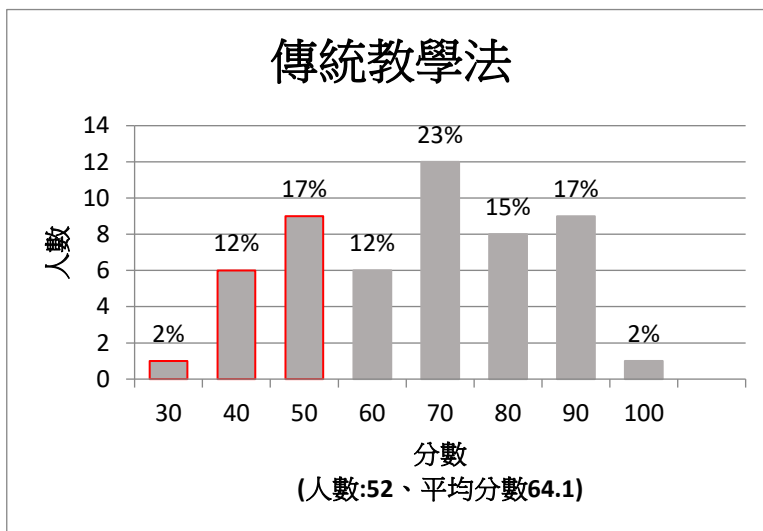
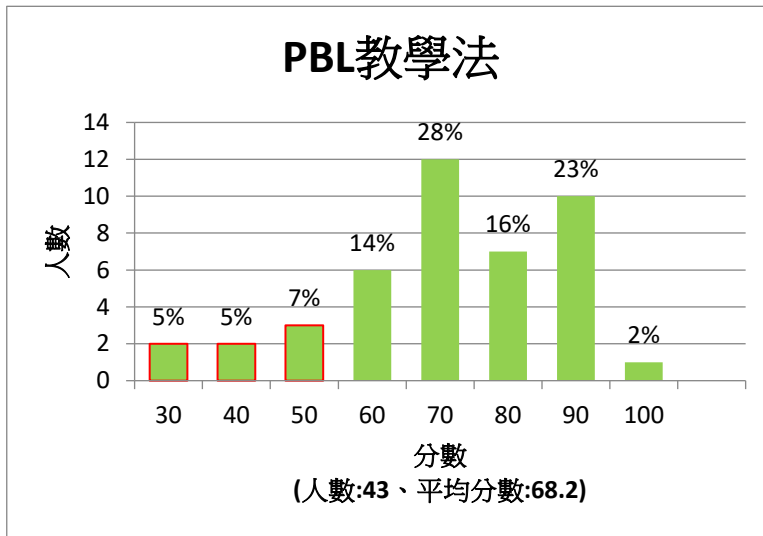


圖 8、PBL 教學法的期末考成績與前一屆傳統教學法班級之成績直方圖比較結果
從圖 8 可觀察得知，採用 PBL 教學法班級的成績不及格者乃 17%，低於傳統教學法班及不及格者占 31%。全班平均分數也進步 4.1 分。

7. 學生心得

(1)在解密音檔的 PBL 過程中，學生心得如下：

- S10520x9: 可以知道自己所學的知識不僅僅是知識，更可以拿來利用的工具，在學習中有較多的真實感。
- S10520x9: 讓我對讓濾波器的應用更加熟悉，讓我想用 LTSpice 軟體設計電路過濾實際音檔。
- S10520x8: 讓我更具體了解在日常生活中遇到這個問題要怎麼解決，並且更知道濾波器如何使用。

(2)在貝多芬調琴的 PBL 過程中，學生心得如下：

- S10520x1: 解決問題時很有成就感，雖然學習過程中一定會碰到許多問題，但學習如何解決問題很重要。
- S10530x5: 從生活中的問題入手，可以促進我們的思考和學習內容做連結。
- S10520x8: 以後更能將所學活用，而不是死讀書，透過同儕討論能發現更多自己沒有考慮到的東西。

(3) 貝多芬調琴的 PBL 學生作業

此 PBL 作業中，讓學生扮演失聰的貝多芬，該如何將一台老鋼琴進行調音？因為貝多芬失去聽覺，所以學生須尋找適合的手機 APP 作為測量音頻的工具來取代耳朵，然後查詢每一個琴鍵的頻率，即可進行調音。下圖是一位學生所提的解決方案。

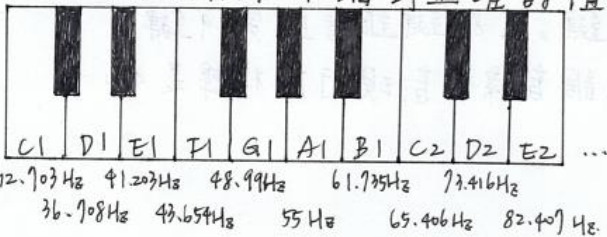
PBL 學習單 3. 我是調情(琴)大師 2022/12/14

姓名: 學號: 5105208

1. Problem: 在“不可說的秘密”電影中有一台骨董鋼琴，年久失調，五音不全，你變身為 56 歲的貝多芬聽力已幾近失聰，想挽救這台老鋼琴，使其美音重現。你手邊只有一支板手、一台手機，幸虧有 wifi，該如何調音？

請學生提出解決方案 (先不討論，自行寫出解決方案:例如流程圖、電路圖、示意圖，與文字說明等等)

先上網查詢鋼琴頻率表，找出各個
按鍵相對應的頻率並且開啟測
量聲音頻率的 APP 進行測量，運
用板手將該按鍵調到正確的值。

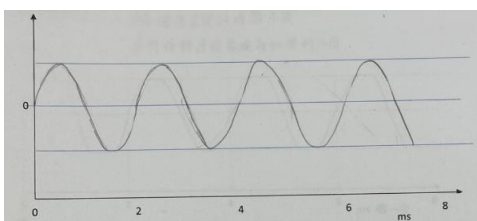


2. 互相討論 15 分鐘，然後調整你的解決方案，用鉛筆寫以便修改，越詳細越好，然後上台報告

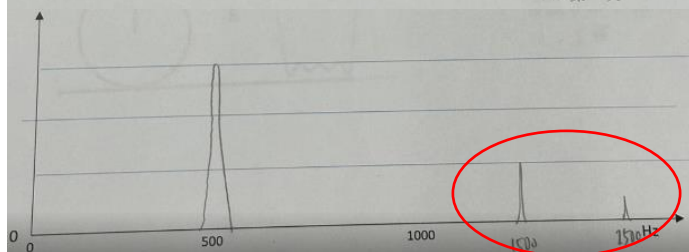
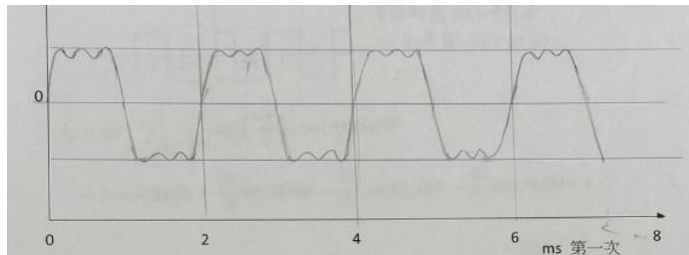
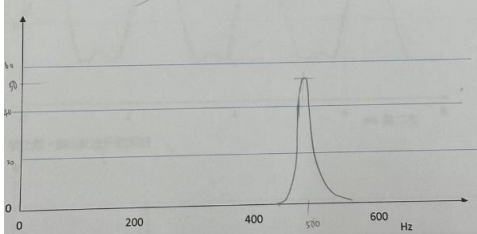
查出各個琴鍵的音頻，下載 APP，一個一個鍵按，看波型。
跟數據是否正確，調出漂亮的弦波泛音就能確定疊加
出來的琴音是正確的！

PBL 問題: 探究為何 500Hz 的方波比 500Hz 弦波刺耳?

以下是學生利用手機 APP 做傅利葉實驗重組方波所紀錄的波形，重組波形接近方波。從實驗中證明 500Hz 的方波內含有 1500、2500Hz 的高頻，所以較 500Hz 弦波聲音刺耳。



2. 續上題，劃出此波形的頻譜



學生善用手機 APP，利用傅立葉原理重組 500Hz 方波，步驟如下

1. A 手機發出 500Hz 弦波聲音
2. B 手機發出 1500Hz 弦波聲音
3. C 手機發出 2500Hz 弦波聲音
4. D 手機 APP 為聲音頻譜儀，負責接收 ABC 手機之音頻。



七、 建議與省思

PBL 教學法的问题設計對於教學效果與學生學習成效極為關鍵，本研究設計的問題盡量從生活中可能接觸的話題切入，或是可以親身體會問題內容(例如用耳朵聽 200Hz 方波比 200Hz 弦波聲音之刺耳程度不同)，如此可激發學生之學習興趣，促進小組討論氣氛。初期不宜以傅立葉數學題讓學生解題，因為純數學或理論解題較難激發學生學習興趣，甚至放棄學習。傅立葉純數學題的解題應於學生對於基本傅立葉理論了解並產生興趣之後，方才提供學生練習解題。

傅立葉分析是處理訊號的時域與頻域之間的轉換，因此學生須對訊號的時域與頻域有基本的先備知識，方才容易理解傅立葉分析的重要性。本研究所設計的諸多 PBL 問題即從基本的時域與頻域概念破題，以便引導學生進一步思考傅立葉分析的功用。本研究建議設計 PBL 問題時，應將前後章節理論一併貫穿來設計問題，例如從了解時域與頻域的差异，進一步思考如何應用濾波器，進而用傅立葉分析來驗證頻譜。

本教學研究不論在解決問題能力、課程滿意度、學習表現、學習興趣皆有顯著性的改善，唯獨學習動機的統計分析結果不如預期，筆者深思其中原因，可能原因是電路學本身雖是必修課，但不是考研究所的考科，所以經常被學生忽略，因此縱然筆者改變教學法與課程教材也難以改變電路學在學生心目中容易被忽視的科目。然而學生並不知道電路學(二)的傅立葉分析是後續進階課程:電子學、數位訊號處理、通訊導論、電力電子、電力品質、數位影像處理的基礎，因此筆者認為學期初應該與學生詳細說明電路學

(二)的傅立葉分析的重要性，方能提高學生的學習動機。

參考文獻(References)

- [1] 王靜、李應岐(2019)，“傅立葉級數引入環節的教學設計”，高等數學研究，2019年03期。
- [2] Iqbal Singh, Bikramjeet Kaur (2018), “Teaching graphical simulations of Fourier series expansion of some periodic waves using spreadsheets”, *Physics Education*, Vol. 53, No. 3.
- [3] Carlos R. Baiz. (2020), “Interactive Tools for Teaching Fourier Transforms”, *The Biophysicist*, Vol.1, No.1.
- [4] Manuel Cabral Reis, Salviano Soares, Simão Cardeal, Raul Morais, Emanuel Peres, Paulo J. S. G. Ferreira. (2014), “Teaching Fourier Series Expansions in Undergraduate Education with the Help of the FouSE Android Application”, *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, Vol 8, No 1.
- [5] K.H. Cheong, J.M. Koh. (2018), “Integrated virtual laboratory in engineering mathematics education: Fourier theory”, *IEEE Access*.
- [6] Jiang En-hua, Yang Yi-jun, Dou De-zhao, Wang Xu-de, Chen De-bao (2017), “Teaching Research of the Fourier Transform in the Digital Signal Processing”, *Journal of Langfang Teachers University*, 2017-1.
- [7] 羅忠濤、張剛(2018)，利用多元化手段優化傅立葉變換教學，電氣電子教學學報，2018年04期。
- [8] 王科(2010)，”MATLAB/Simulink 在傅立葉級數教學中的應用”，成都電子機械高等專科學校學報，13卷2期，P66 – 69。
- [9] 梁繼權。PBL的學習理論。網址：<http://mi.mc.ntu.edu.tw/xms/content/show.php?id=617>
- [10] Barrows, H. S., and Kelson, A. C. (1995), “Problem-based learning in secondary education and the problem-based learning institute”, Springfield, IL: Problem-Based Learning Institute, Vol. 1, No.1, pp:1-5.
- [11] Boud, D., and Feletti, G. (1997), “The challenge of problem-based learning”, Psychology Press.
- [12] Burch, K. (2001), “PBL, Politics and Democracy”, *The power of problem-based learning*, pp 193-205.
- [13] 涂卉、雷漢聲、黃錦華(2016)，“問題導向學習教學模式下學習動機對學習滿意度影響之研究—以弘光科技大學為例”，商管科技季刊，17卷4期，pp467 – 491。
- [14] 簡婉容(2020)，“問題導向學習的學習動機與成效之相關研究”，臺灣師範大學工業教育學系學位論文
- [15] 張培華、鄭夙芬、曾清標(2018)，“這是個「問題」嗎？問題導向學習之行動研究”，大學教學實務與研究學刊2卷2期，pp 91-125。
- [16] 楊介仙(2019)，“問題及專案為導向學習之混合引導式教學法應用於車載網路系統課程之教學實踐研究”，教育部教學實踐研究計畫成果報告。

- [17] 程慧娟(2006)，“問題導向學習法”，教學新知第 15 期。
- [18] John Elliot. (1991), *Action Research for Educational Change*, Open University Press.
- [19] Vernon, D. T., & Blake, R. L. (1993), “Does problem-based learning work? A meta-analysis of evaluative research”, *Academic medicine*, 1993.

附件(Appendix)

解決問題能力問卷
1. 遇到問題時,我相信自己有能力解決
2. 憑著自己的努力,相信我可以解決所面臨的問題。
3. 以前我碰到過問題,而我將它解決了。
4. 我願意面對問題,想辦法解決。
5. 遇到問題時,我不會逃避。
6. 遇到問題時,我總是努力自己解決。
7. 解決問題之前,我會先思考我所碰到的是哪一種問題?
8. 對於周遭的事物,我常常可以提出問題來發問。
9. 我認為在解決問題之前,要先知道問題出在哪裡?
10. 我知道老師所問的問題,到底要問什麼?
11. 除了問題之外,與問題有關的原因也要了解。
12. 在解決問題的過程中,我常會收集相關資料。
13. 遇到問題需要解決時,我會先思考問題解決的方法與步驟。
14. 我會與別人合作,共同來解決問題。
15. 解決問題時,我能將大家的工作分配好。
16. 我希望能想出好玩、有創意的方法來解決問題。
17. 我可以想出許多種方法來解決問題。
18. 在解決問題的過程中,我能誠實處理事情。
19. 我認為解決問題時,要比較每一種解決方法所可能產生的結果。
20. 我覺得要用相同的評估標準來比較結果,才能確定所採用的解決方法是否合適。
21. 我會利用科學的方法,例如「做實驗」,來解決問題。
22. 我會設計一些實驗來試試看,能不能將問題解決。
23. 我能對別人所想的解決方法,提出問題或建議。
24. 對於大家所提出的意見,我可以判斷哪一種解決方法比較適合。
25. 解決問題的方法想出來後,會認真去執行。
26. 問題解決的過程中,我很有耐心,直到問題解決。
27. 解決問題失敗時,我會再用其他的方法試試看。
28. 問題解決之後,我會比較原來所猜想的結果與後來實際結果之間的差別。
29. 雖然問題解決了,我還是會去想想看有沒有其他更好的辦法。
30. 我會應用所學到的方法來解決生活中所遇到的問題。