1 Introduction

1.1 Overall Objective

鏈　疄楠屾槸EEE109鑾靛瓙鑾佃矾璇剧▼鐨勤　2娆〞疄楠岋紝涓婚　涓築JT涓庢斁澶ｙ榇銆傚疄楠峴€氳繃NI ELVIS III骞冲彴锛出粨鍚?N3904鎗朵絃绠°€佹祴閱忑华鍣ㄥ拰浠跨湡宸ュ吐锛屽孫鳴繘琛岋細瑙傞祴鎗朵絃绠　V鐧规€ｃ€佸垓鎰慵櫠浣撱　寮€鍏宠　涓恒€佺爺绌跺叡灏勤斁澶ｙ榇鐨勤　鐩婁笅棰哉昆鍋嫟簰銆侀獙璇佸皩榇权撳嚭鐧规€ｑ紝浠ュ強瀹屾垚涓€涓　患鍚堛數璺　璁′换鍔°€傚疄楠屾棬鎸ㄥ珐鍥烘櫠浣撱　鍋忕疆鍜屾斁澶ｙ師鑱嘉紝鍙瑰吁鑱嗚　鍒嘆灂涓庡疄楠屾祴閱忕殑缁撳悎鑴藉姏銆?

1.2 Theoretical Background

NPN鍥嬪弼鐨佺粨鎗朵絃绠$鼓鍙烘灏銆佸祭灏勤灏鍜岥泥鑾垫灏缁勤垚銆傚湱鏈夂簪鍒猴紝鍙烘灏-鍙戝皩鐨佺琚　鍚戝嚵缃　紝闆嗙數鐨?鍙烘灏缁搅　鍙嫳悜鍋忕疆锛屾　鏃堕泥鑾垫灏鑾垫祺杩或技鑾卞熀鐨佺數娴佹帶鍒讹紝寨剁鼓鑾垫祺鏀惧ぇ鍊嶆暟β浣撱幫銆傛櫠浣撱　鐨勤伐浣滅妍鎬佸病鏈夏泥鑾垫灏鑾垫祺锛屾櫠堕泥鑾垫灏-鍙戝皩鐨佸弗闕嫳縞浣庸紝鏈夏簪鍒哄垹鍙　疄鏊扮嚎鎬Φ斁澶ｃ€?

鍏卞皩鏀惧ぇ鑾佃矾渚濊裨闔傚絃鐨勤嚵缃　綉缁滄澈寤虹珛绋冲晶宸ヤ鬃鐐癸紝鑺〜悎鑾靛　鍜屾梺璺　數瀹瑰垹褰卞搷浣庠　鐫嫳簰銆傛斁澶ｙ榇鐨勤數鍘嬪　鐩婄鼓鎗朵絃绠〞弧鑴板拰璐煪浇鑾甸樆鍐冲晶锛屼緝鍑洪€氩父涓庤緝鍏ュ弤鐩搞€傚皩鐨佸弗闕忏榇鐨勤壒鐐规槸权撳嚭鑾靛肃鍑狀篁闕忛緝鍏ュ彉鍒梜紝浠ｈ緝浜庤緝鍏ヤ蹲涓　熀鐨?鍙戝皩鐨佸肃鬣紝鍏锋扮嚎鎬Φ偣綆椤緝鍏ラ樆鍔椭€佹綆权撳嚭鬣闕绘姊鍜岁繻浼煎崟浣嶇數鍘嬪　鐩娩紝闆傜戟浜庠樆鍔槅愿閰嶔笃淇〞彿缂撳堪鍤?

1.3 Expected Behaviour of the Circuits

鎷丨　1閹ㄥ垓涓　紝闋忕淆闆嗙數鐨佺數鍘嬪　鍔狂紝BJT鐨勤泥鑾垫灏鑾垫祺搴斿洋鍙烘灏銆傚湱鏈夂簪鍒鸿秣浜庡钩彿筹紝涓　嫳悅鍙烘灏鑾垫祺涓嬬殑权撳嚭鏋茬嚎搴斿慄鏊板嚭鍒诲害寮忕殑鍒嚼赣锛屽蝶鏄犲嚭β鐨勤彉鍙

栥€傚潒绗?閮ㄥ垓涓 紝鎗朵絃绠′鄬涓哄紑鍏虫碌搴旂樉绀哄嚭鎴 栎鍜岄ケ鍜屼袱绉嶈罧鏄剧妍鎬侥細鎴 栎鏃堕泥鼞垫濑鼞垫祯杩或筼涓洪浂锛岄ケ鍜屾碌V_{CE}鏄捐憲闤嶄綆銆傚潒绗?閮ㄥ垓涓 紝鍏卞皾鏀惧ぇ鍣ㄥ簿缁欙嚚巉瀣嶇泝杈撳嚭锛屽浂涓 鑼冨洿鍍呰〃鼜板嚭绩冲晶鐨勤數鍘嬪 鐩娩紝鑴屽浂浣庠 绔 鼓浜庠€冀悎栨梺壨 數瀹圭殑褰卞搷浼氫板 鐩婁笑闤嶒€傚潒绗?閮ㄥ垓涓 紝灏勤瀨壨熼殢鍣ㄥ簿瀹烚帮杈撳嚭缁ㄣ殢杈撳磉銆佸箙搴冭帴杩?涓旅缉鍥洪樆鎬椭緝浣庭殑鑷规€ c €傚潒绗?閮ㄥ垓鐨勳 璁′ 换鍔′ 腑锛岄 鏈熼€氳繃鍚堛悲閫爻嫫鍋忕疆鍜屽厓浠讹紝寰楀垓鍚勤牢鐨勤洿娴侄伐浣滅偣鍜屽氦娴佸伐搷旅壇濂界殑鼞佃矾銆?

1.4 The Organization of the Report

鏈 妬鍜娵 鍏堜互Abstract寮€澶达紝鎬荤粺為獙鐩 殑銆侦柟娉曙€佺粨鐓滃拰缁撹 銆傞殢鍚嶄巢ntroduction閮ㄥ垓浠嫡肃瀹為獙鑱屾櫙銆佺€佺悲璁鸿儗鎗 €佺數璺 鏈熶 涓轰互鍙婃妬鍜嫔粍缁园€侲xperimental Setup and Procedures鑹傛骞杩板疄楠劣 缃 €佷华鍣ㄥ拰娴嬮嘶姝ラ 銆俣esults and Analysis鑹傞€氳繃琛儿牢鍜屽浑琛ㄥ睍绀哄苟鍒嘆瀑缁撳灉锛屼纾鳴 姣旅緝骞惰 璁鸿 宸 €傛渶鍚堟onclusion鑹傛€荤粨為獙纭 鐨勤咲瀹广€侦剩涔夕拰鍙 潬鎬ㄋ紝References鑹傚垪鍑哄紩鼞乂祫鏂櫡€?

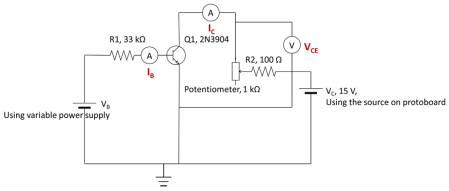
2 Experimental Setup and Procedures

2.1 Instruments and Components

鏈 疄楠屼腑鐨勤堑鏈夌數璺 疝鏬 缓鏀?NI ELVIS III 鐨勤師鍒嫩潜涓旻€傛嘱涓 疄楠岥疝浠ヨ 骞冲彴浣滀负涓昏 瀹為獙璁惧 锛屽彛涓哄畠闆嘆垚浜嗗涝涔娴佺数婧愤€侦暟瀛榆笆鼞乂〃銆佸嚱鏁板骑鼞熞榇銆佺ず娉㈠榇浠ュ強 BJT 鐧规€ φ祴閱忏伐鍏凤紝渚夸鎏鏀ㄥ愰涓€骞冲彴涓婂畬鎴愩數璺 窓寤轰笃娴嬭瘱銆傜 1 鍒扮 4 閮ㄥ垓浣跨敤鐨勤富瑕侦湁婧愬榇浠朵负 2N3904 NPN 鎗朵絃绠★紝鍏朵粍鍏冯欢鍙呗嫭鍥哄晶鼞甸樆銆佸€ㄥ€冀屾€佸€ㄥ€冀勤簩鐓佺 銆?

鏕儿瘡涓€閮∠垮瀹為獙寮€濮嬪墠锛岏澈鎸夌収缁欏畾鎹佃矾鍟惧畬鎴愬缩匡紝骞堕€愩墫妫€鏌ュ厓浠跺弸鑤帮紝浠ュ嘶灏戛帴绾块敖璇甫鏦ョ殑褰卞搷鍤侊悅鏼杂筲浠旂粚鏍稿　浜嗘櫠浣撶　鐨勫紩鑴永『搴忥紝鍟犬负涓€鏼冖泥鍎垫濑鍤佸熀鍰鍤佸拰鍙戝嶈鍤佹帴嵇崑紝娴嬪緱缁撴灉哨け鍘绘剩涔条€?

2.2 Section 1: Bipolar Junction Transistor Characteristics



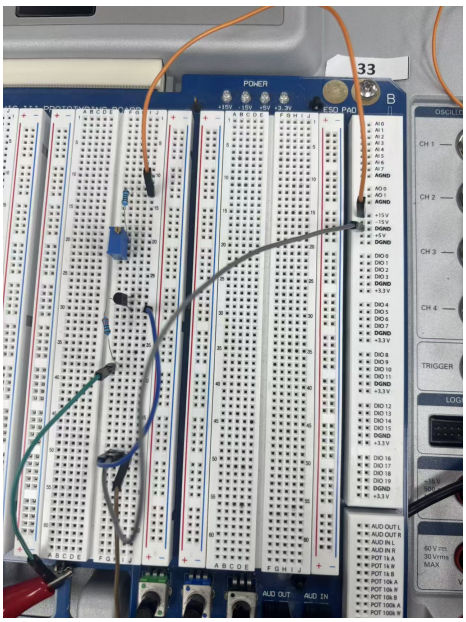
鍟撅細BJT鑭规€ф祴閱忕數璺　師鎒哨浘

鏕?Section 1 涓　紝棣槐厮娴嬮嘶浜嗘櫠浣撶　鐨勫熀鏈　縃鍑虹壏鎬ｃ€傚曉 2N3904 鎸夌収姝ｇ‘鐨勫熀鍤併€侀泥鍌垫濑鍜岓蒉灏勘濑杩炔帴鍒?NI ELVIS III 鐨?BJT/IV 鍒嗘瀟浠　笂锛岓苟鏕乂蒋浠朵腑灏嗘櫠浣撶　绫诲瀷璁句负 NPN鍤?μA 涓烘　閹垮垮鎴?5 涓　。浣嶜€傞€氳繃杩欑　鏂瑰紡锛屽华鍣丨洿鎃ョ粸鍑轰鍛ф鍤ф洸绾裤€傚悗缁　垮鍤惧腑锛屽富瑕佸垛鍌乂繖浜涙洸绾胯　璁烘櫠浣撶　鏕儿滘婧愬尰鍤侧ヶ鍜岓尰涓　殑宸ヤ鍡鎯呬咒锛屽互鍙婂熳鍤佺數娴佸澶ф棣闆唠數鍤佺數娴佺殑樺寲鍤傚疄楠楠闋呗摃浣滀腑鍙戠幫鍒嗘瀟浠　帴瑙冀竻鑶　紝灏嗘櫠浣撶　鎃ュ瑗闈㈠寘鍟垮苟鍌儿澡閰≯嚎杩炔帴鍒㈠寘鍟垮拰鍒嗘瀟浠　€?

鏕儿　涔嬪悗锛岓張鏕儿墜鍔儿窓寤虹殑鍋忕疆鍌佃矾涓　　鎬朵絃绠¤繘琛屽簡杩冼竻姝ュ祴璇曬紝浠ヤ究鏕∠彈鎃ｙ翀缃　潯浠朵笑鏇寸洿瑙傚湴瑙傚療鍏跺伐浣滆　涓恒€傝　鍌佃矾鏬　缓鏕∠師鍥嫩潜涓娩紝閫氳繃鍌典綅鍣乂皜鑹傚熀鍤佸翀缃　紝閫夕蠕浜嗘笠涓　笃鍚出殑鍋忕疆鐘舵€併€傚　浜庢瘡涓€涓　妍鎬侊紝閮介€愩　鍗囲珮闆唠數鍤佺數婧愮數鍘嬭紝骞跺涤姣忑竻姝ョ敭鏸板瓩涓囷敭琛乂　褰曉泥鍌垫濑鍙鍌佺數鍘嬭拰闆唠數鍤佺數娴併€備笌浠呬娇鍌乂嚜鍔ㄥ垮鍤惧华鐩告瘪锛岓繖涓€閮∠垮鏟磋祬鍌槽槧鎬朵絃绠〞涤瀹為檯鍌佃矾涓　殢鐫€鍋忕疆鍌樺寲鑰岓骇鍌熺殑鍎敖簰锛岓箬澹灏喟疄娴嬪暟鐩　笌

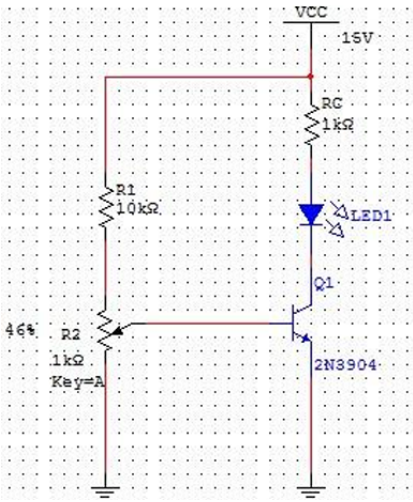
棰勠湡鐨勤數娴佹斁澶 x 壒鎬 ц 繘琛屾瘮杈冠€?

鏣丨數璺　窓寤鸿繃绋嶶腑鍙哉幫锛屻　鎣佃矾闇€瑕佸惧鏃剁鼓闈㈠寘鐓跨數婧愬捱鍑芥暟鍙哉敓鍣尤綬鎣碉紝骞朵笢澶氢釜鋤ュ涎鐐归』缁熾蹲鋤ュ涎銆傚垵鏈熶悇鋤ュ涎鐐圭嫭绦嬭嶶鋤ユ棣锛屾瀛榆笣鎣乂〃鐨勤祴閱忛　鑈版病鏈爰罧鏄惧彉鍖染€傚皢闇㈠寘鐓跨殑鏣扮嚎銆佺數璺　帴鏣扮倍鍜岏噦鑈板裳鎣熷榛鐨勤涎绾跨粺涓€杩炴帴綧鍚庸紝鎣靛弗琛儿仮澶嶶　甯稿伐浣溿€傝繖鍏唯垓璇存罧鏣ㄥ　鎣垫簪鍗忏悅宸ャ綔鐨勤數璺　腑锛岏缓绔嬪鬫冤犵殑鍏　叡鋤ュ涎骞抽潰鏄　繚璇佹祴閱忕簿搴〜拒鑈版嵁鍙　潬鎬 x 殑鍏抽敭銆?



鍥撅細Section 1 鎗朵絃绠＄壒鎬Φ祴閱忕數璺　疄闌呎窓寤?

2.3 Section 2: BJT as a Switch

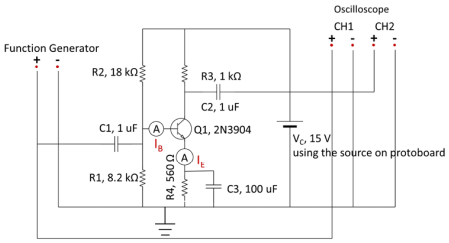


鍥撅細鎗朵絃绠〞紑鍏崇數璺　師鎒喟浘

鏕?Section 2 涓　紝鎗朵絃绠′笃鍐嶅涓烘斁澶ｙ榛浣跨敭锛岀€屾槷浣滀负寮€鍏冲榛浠朵娇鎏ㄣ€傜數璺　寧鐓ｙ浘涓　塈绀烘窓寤猴紝鎗朵絃绠￠噰鎏九綆绔　紑鍏宠黼鎃ュ柟寮忙€傜‘璁ゆ帴绾挎棤璇　悗锛岀皢瀣涠緡鍏ヤ俊鍙凤紝浣垮舌鏕九綆鎏靛钩鍜岀卮澶熠彊渚涜冻澶熠熀鐓佺數娴佺殑杈江珮鎏靛钩涔嬭梡鍙樺寲銆傚絃杈撳磰涓轰娇鎗朵絃绠〞簰澶勫鐪　　鐘舵€侊紝鍍犵　闆嗚數鐓佺數娴佸簰鎃ヨ繇浜庤涘锛岀緡鍑虹數鍘嬪簰鎃ヨ繇鎏垫簪鎏靛帶锛涘絃杈撳磰瓒冲　楂樻棣锛屾槷浣撱　搴旅繘鍏ラケ鍜岓旭锛屾板€笺€?

鍥犵　锛岀繖涓€閹ㄥ垓涓昏　娴嬮嘶鐨勤榛涓ょ　宸ヤ綔鐘舵€佷笈鐨勤緡鍑虹數鍘嬨互鍙娵泥鎏垫瀨-鍙戝皧鐓佺數鍘嬭紝鍙樻蹤埠鎏乂繖浜涜　鏕板垽鏂　櫥浣撱　鏄　悊纭　疄琛丨幫鍑虹數瀛愬紑鍏崇殑鐗规€ｃ€傝繖閱屾病鏈夌畝鍗曉噸澶嗘疄楠岁　涔变腑鐨勤夫閹乂　绠楄繃绋嫌紝鍑瀛嗛噸鑽规斁鎏ㄥ疄娴嬪粨鐓滄榛鍚冩瀹為檯鎏佃矾涓　堕姝㈠拰楗卞拰鐨勤　鏈熵　涓轰墫鑷淬€?

2.4 Section 3: Common Emitter Amplifier



鍥撅細鍏卞皧鏀惧ぇ鍣丨數璺　師鏝喟浘

2.4.1 Transistor Amplifier

在这一部分中，首先按照图中的电路搭建共射极放大器，并连接好偏置电阻、集电极电阻、发射极电阻、输入耦合电容以及发射极旁路电容。完成接线后，先不给输入交流信号，而是使用 NI ELVIS III 的电源为电路供电，并用数字万用表测量基极、集电极和发射极的直流电压，以确认晶体管是否工作在有源区。其中特别关注集电极电压的位置，判断其是否接近电源电压范围的中间值，因为这一点会直接影响后续放大时输出波形是否容易发生削顶。

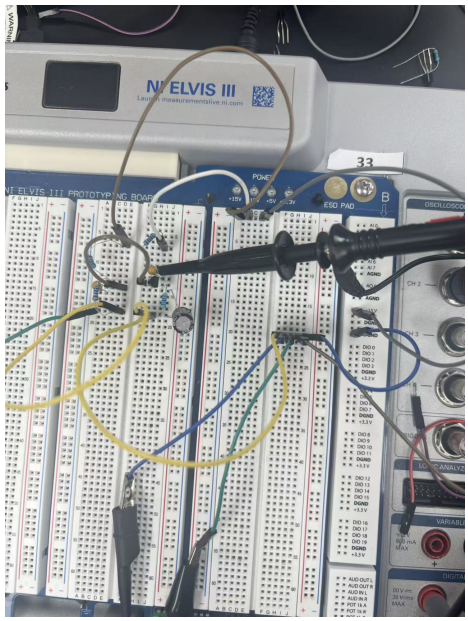
在确认直流工作点合理后，再检查元件连接是否稳定，确保各引脚没有接错，输入端和输出端也没有混接。这一小部分的重点是先验证放大电路本身已经正确搭建，并具备正常工作的基本条件，为后续进行交流增益和频率响应测试打下基础。

2.4.2 Frequency Response of the Amplifier

在这一部分中，保持前面已经确认能够正常工作的共射极放大电路不变，通过函数发生器向输入端加入小幅正弦信号，并利用示波器同时观察输入波形和输出波形。首先在中频范围内测量输入和输出的幅值，通过两者的比值估算电压增益，同时观察输出波形是否与输入反相，以判断该放大器是否表现出共射极电路应有的基本特征。

在中频测试完成后，再逐步改变输入信号频率，在低频、中频和高频范围内分别记录输出幅值的变化情况。测试过程中尽量保持输入信号幅度不变，并避免输入过大导致输出失真。通过比较不同频率下输出的变化，可以分析该放大器的频率响应特性，并进一步说明耦合电容、旁路电容以及晶体管本身高频特性对整个放大电路带宽的影响。

鏕丨數璺　窓寤哄拰娴嬭瘯杩囝▼涓　紝鍙戠幫杩囧害浣跨敤鐓滈偊绾夸細瀵艰嚧鉏ヨ E涓將壇閹　　锛屻繘鑰屽弗閱嫳奖鍋嶄俊鍙疯川閱忏拰娴嬮嘶鐨勫麤闈犳€ c €傚粲姝ゅ滢鼞佃矾鏬　缓鏃跺簰灏介嘶鍑忏皯鐓滈偊绾跨殑浣跨敤锛屽屈鍉垼噰鼞丨洿鉏ヨ藚鉏ユ磅銆傛　澶栌纪闇€瑕佺壒鍒　敞鎰忱槻姝㈢數闃诲拰鼞靛　鐨勫紩鐫氦溮浜掀帴瑙≯垮涓庐舌浠栭儴鍒嗢剽鉏ワ紝杩欑篷缁嗚姈铡界扐鐪嬿技寰　罐锛屽緘瀵瑰瑌出殑鎴愬娜鍜屾瞠鐩　殑鏈夊晥鎬ㄩ嚦鍉抽噸瑕併€?



鍥撅細Section 3 鍉卞皧鏀惧ぇ鍣ㄥ疄闌呎窓寤?

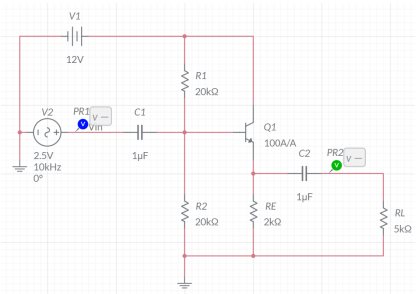
2.5 Section 4: Emitter Follower Amplifier

2.5.1 Circuit Model

鏕?Section 4 涓　紝鍉堔粨鍚堔數璺　ā鑀嬪垓鐓惧簡灝勘瀨璺熼殢鍣丨殑鍏烘滄宸ヤ毊鍘熺悊锛岥殢鍚庡涤鍘熶瀷鏰夸笃鼞儿櫠浣撙　銆佸　　數闃讳互鍙婄狮搴旂殑杈撳碜杈撳嚭杩炴帷鍣　缓浜喟疄闌呼數璺　€備笀鎝嶄蹲鑹傜殑鍉卞皧鏀惧ぇ鍣丨狮姣旓紝杩鍣勣噸鐐逛笉鏄　幏寰楄緝澶ｘ殑鼞靛弗澧炵泭锛岥屾槸瑙傚療璇ョ數璺　　浣疊窔闃忛綢鍉ョ數鍘嬪彉鍟柳紝骞朵涩涓虹紦鍐荏骇浣跨敤銆?

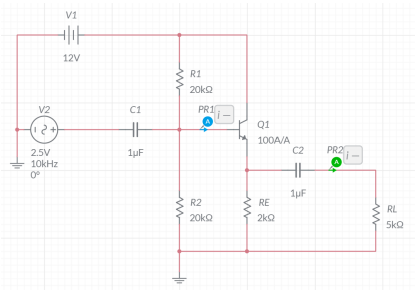
鼞佃矾杩炴帷瀹屾垚鍚庡紝棣杩浜嘶熀鐓佸拒鍙戠幫佺鍣ㄥ殑

鐩存祿鎏靛弗锛屼互纭　　鍙戝皩鐨佺數鍘嫊槲鍚冖卮澶煪窔闅忏熀鐨佺數鍘嬪彉錕柳紝骞朵繚鎸佸ぇ绾へ蹲涓　熀鐨?鍙戝皩鐨佺粨鍘嬪檷鐨勤樊鍊笺€傚澹纭　　鐩存祿宸ヤ瓥鎯呬喌姝ｅ父鍚庸紝鍐嵈澹杈撳碰绔　姞鍏ュ　寮へ俊鍙凤紝骞朵粋鍙戝皩鐨佸彊鍑鸿緝鍑轰俊鍙凤紝鎎丨ず娉㈠榛姣旅緝杈撳碰涓庠緝鍑烘尝褰€€傞噸鐐硅　瀵熺殑鏊拌薄鍖呜嫭杈撳懿涓嵈弢鐩搞€佺數鍘嬪　鐩婃帴杩?1锛屼互鍙婁笅鍏卞皩鐨佺數璺　浰姣斿呂椹卞姩璐煪浇鑳藉姏鏇村己銆?



鍥撅細Section 4.1 灝勘瀨璺熼殢鍣丨數璺　師鏄喟浘

2.5.2 Practical Circuit

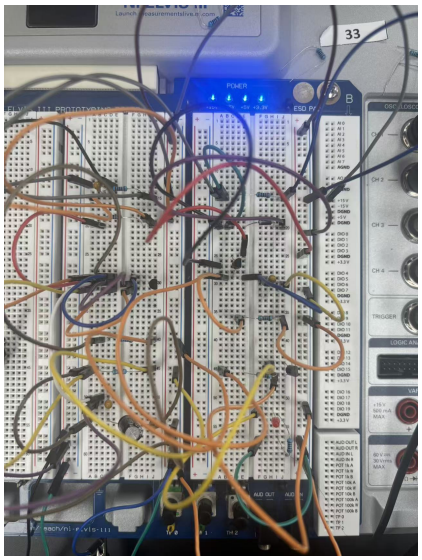


鍥撅細Section 4.2 灝勘瀨璺熼殢鍣ㄥ疄楠出數璺　浘

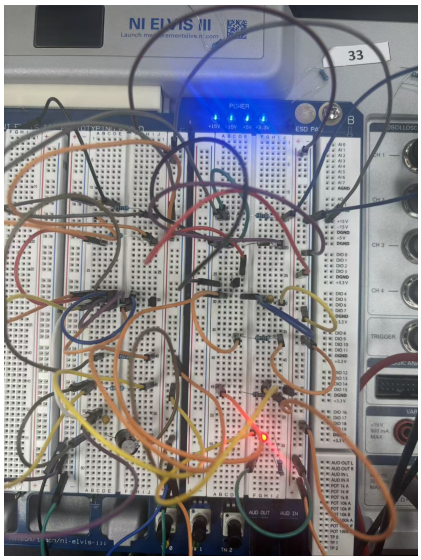
2.6 Section 5: Comprehensive Design Task

鏕?Section 5 涓　紝鏈€缁堣　璁′换鍣¤　姹傚曉鍎嶈　畬鑲寸數璺　€傚澹姝ｅ紡鏬　缓鑲翠釜鏊佃矾涔嬪墽锛屼岸鏍规嵁璁捐　璁＄睦缁撳灉閾夂畾鎵€闇€鐨勤厓浠跺弛鑲般€傚疄闋呜窓寤烘棣骞舵病鏈变蹲娆℃€ｙ曉鍏ㄩ儴閱ㄥ垓鍚屾棣涓嬪数锛岀€屾槸鎸夌收妯″澈閫愬　瀹屾垏锛

屶繖鏍锋洿瀹规槁鏕乂繃绋嬮腑鍙戠帮閿欒　锛岏条涓烘瘡瀹屾垚涓€涓　儴鍒嗛卮鍙　互鍏堣繘琛屾　鏌ワ紝鍐嶈户缁　藾鎃ュ悗缁　儴鍒嗗€?　　褰撴嘱涓　數璺　帴绾垮畬鎴愬悗锛岀　鍏堜娇瀛楀笖瞪瀛楀€?〃娴屽嘶鍏抽敳鑹傜倍鐨勤洿娴佺数鍘嬪紝浠ョ‘璁ゅ悇绾ｘ數璺　槲鍚﹀伐浣滃涤棰勤湡鑹冨洿鍐吔紝嬪傢悗鍒嶈繕€傚涤婊¤冻棰槨洰瑕佹眸鐨勤潯浠朵呈鍒┼敤绁烘尝鍣ㄥ拰鏸板瓧涓囨敤琛儿祴閱忛綢鍥烘尝褰㈠拰杈撳嚭鍱靛肃鍓傍嫻鍒版槛瀍栵紝杩樺樺　鍱佃矾鏕九笃宸ヤ毖鍜岓伐浣滅妍鎬佷笈鍒喟埆鎷嶴浜嗙收鑷困紝浠ヤ究鏇存竻好氬涎灞曠ず瀹為檯鐭　缓缁撴灉鍜屾渶缁堝伐浣滄傑鍐点€?



鍥撅細Section 5 璁捐　浠诲妶鍱佃矾锛堝笃宸ヤ毖鐘舵€佲級



鍥撅細Section 5 璁捐　浠诲妶鍱佃矾锛堝伐浣滅妍鎬佲級