

# Funcions i Sistemes Electrònics

## Pràctica 4

### Amplificador de tensió amb AO's

Setembre 2023

Juan A. Chávez, Antoni Turó

## Objectiu de la pràctica

L'objectiu d'aquesta pràctica és dissenyar, muntar i caracteritzar un amplificador de tensió amb un guany de 400 a una freqüència de 40 kHz i realitzat amb amplificadors operacionals. Aquest amplificador s'utilitzarà, més endavant en el curs, en la realització d'un sistema mesurador de distàncies per mitjà d'ultrasons.

## Organització de la pràctica

La pràctica es desenvoluparà amb un **treball previ que heu de fer a casa** i una part experimental que realitzareu al laboratori d'una durada de 3 sessions de 2 hores.

A l'estudi previ haureu de dissenyar el circuit amplificador de tensió realitzat amb AOs. **Abans de l'inici de la primera sessió al laboratori haureu de lliurar les respostes referides a l'estudi previ.**

Aquesta part experimental consistirà en el muntatge, la caracterització de l'amplificador de tensió dissenyat per veure si compleix les prestacions requerides i, finalment, la seva soldadura en la placa de circuit imprès (PCB) del sistema mesurador de distància per ultrasons del qual formarà part en la Pràctica 6 del curs. **Abans de l'inici de la següent pràctica, haureu de lliurar la memòria amb les respostes a les qüestions** corresponents a les tres sessions **de la part experimental.**

Per realitzar el muntatge dels circuits d'aquesta i la resta de sessions de laboratori de muntatge de circuits **es necessita tot el material, inclosos els components electrònics, que ja s'ha utilitzat en el laboratori dels cursos anteriors** del Grau. A més, **necessitareu tota una sèrie de components electrònics addicionals i la PCB** que us seran subministrats en una caixa pel tècnic de laboratori a l'inici d'aquesta pràctica. El llistat de tots els components subministrats per a les Pràctiques 4 i 6 està al final d'aquest document.

La informació addicional necessària, així com les especificacions de tots els components que s'utilitzaran durant les sessions de laboratori, podeu trobar-les accessibles al Campus Digital ATENEA.

## ESTUDI PREVI

### 1. Circuit amplificador de tensió

L'objectiu d'aquesta pràctica és dissenyar, muntar i caracteritzar un amplificador de tensió amb un guany de 400 que s'utilitzarà més endavant en el curs en la realització d'un sistema mesurador de distàncies per ultrasons. El senyal elèctric que ha de tractar aquest amplificador és el senyal de sortida de les càpsules ultrasòniques que ja vàreu utilitzar en la Pràctica 1. Recordeu que és un senyal d'una amplitud d'unes poques desenes de milivolts i d'una freqüència de 40 kHz. Com que aquest senyal és molt dèbil, s'ha d'amplificar fins aconseguir una amplitud d'uns quants volts, per la qual cosa es necessita un guany de tensió aproximat de 400.

Per implementar l'amplificador podríem utilitzar qualsevol de les configuracions bàsiques amb un amplificador operacional (AO). En aquest cas, utilitzarem l'amplificador inversor acoblat en alterna tal com apareix en la Figura 1.

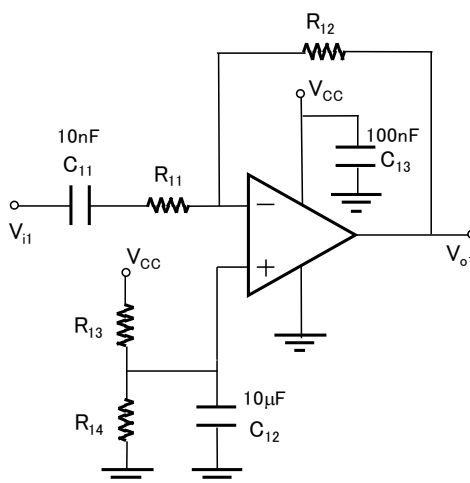


Figura 1. Etapa amplificadora inversora acoblada en alterna.

En aquesta etapa s'utilitza un AO amb alimentació simple ( $V_{CC} = 12\text{ V}$ ) per fer més fàcil l'alimentació del sistema. Per exemple, si volguéssim alimentar amb una bateria, una alimentació simètrica complicaria aquesta part. Això obliga a utilitzar un divisor de tensió en l'entrada no inversora, que afegeix una tensió contínua als senyals alterns que es volen amplificar, per tal d'aconseguir el valor de repòs desitjat a la sortida  $V_{o1}$  quan l'entrada  $V_{i1}$  és nul·la. Els condensadors  $C_{11}$  i  $C_{12}$  són de desacoblament de la tensió contínua i poden considerar-se curtcircuits des del punt de vista dels senyals alterns a la freqüència de treball. El condensador  $C_{13}$  es per netejar la tensió d'alimentació de senyals alterns no desitjats.

**Qüestió EP1.** Quin és el valor del mòdul de la impedància a 40 kHz corresponent a cadascun d'aquests condensadors?

**Qüestió EP2.** Dibuixeu com queda el circuit de l'etapa amplificadora a 40 kHz quan es consideren  $C_{11}$  i  $C_{12}$  com a curtcircuits.

**Qüestió EP3.** Quina és l'expressió del guany a 40 kHz d'aquesta etapa amplificadora?

**Qüestió EP4.** Si volguéssim fer l'amplificador amb una sola etapa, quina freqüència de guany unitat  $f_t$  hauria de tenir l'AO? (recordeu que el guany especificat és de 400)

**Qüestió EP5.** Si ens fixem només en la tensió contínua, torneu a dibuixar el circuit de la Figura 1 (ara els condensadors han de considerar-se circuits oberts). Quina és l'expressió de la tensió de sortida  $V_{o1}$  considerant l'AO ideal?

**Qüestió EP6.** Calculeu el valor de  $R_{13}$  i  $R_{14}$  per maximitzar el marge dinàmic de sortida del circuit si la tensió d'alimentació és de 12 V? Tingueu en compte que el corrent que circuli per aquestes resistències no sigui massa gran, com a molt 1 mA.

**Qüestió EP7.** Quin valor de slew-rate de l'AO es necessita per poder tenir la màxima amplitud de sortida a 40 kHz? La tensió d'alimentació  $V_{CC}$  és de 12 V.

L'AO que utilitzarem en aquesta pràctica és el TLC082 del qual les especificacions tècniques subministrades pel seu fabricant es poden trobar al Campus Digital ATENEA.

**Qüestió EP8.** Analitzant les especificacions del circuit integrat TLC082, determineu: el número d'AOs que conté el xip, el tipus d'alimentació que admet, la freqüència de guany unitat  $f_t$  i el slew-rate SR de l'AO.

**Qüestió EP9.** A partir de la freqüència de guany unitat  $f_t$  del TLC082, la freqüència del senyal que s'ha d'amplificar (40 kHz) i el guany especificat per a l'amplificador (400), justifiqueu quantes etapes en cascada com la de la Figura 1 són necessàries.

**Qüestió EP10.** Dissenyeu l'amplificador utilitzant el TLC082 amb les etapes necessàries per aconseguir 400 de guany a 40 kHz. Tingueu present que el valor de la impedància que presenta el condensador  $C_{11}$  a la freqüència d'interès ha de ser menyspreable enfront a  $R_{11}$  (uns 100 cops més petita). Quins valors de les resistències  $R_{11}$  i  $R_{12}$  heu calculat per a cadascuna de les etapes?

**Qüestió EP11.** Dibuixeu l'esquema elèctric de l'amplificador complet especificant el valor de tots els components. Heu de triar valors comercials per a totes les resistències i us heu d'assegurar que disposeu d'elles.

## PRIMERA SESSIÓ DE TREBALL AL LABORATORI

### 2. Implementació i caracterització de la primera etapa

La part experimental d'aquesta sessió consistirà en la verificació del correcte funcionament del muntatge i la caracterització de cadascuna de les etapes amplificadores per separat.

Munteu en la placa de connexions "Protoboard" la primera etapa amplificadora (Figura 1) tal com l'heu dissenyat a l'estudi previ. Utilitzeu un dels dos AO que conté el circuit integrat TLC082 (l'altre AO l'utilitzareu en la segona etapa). Alimenteu el circuit amb  $V_{cc} = 12\text{ V}$ . Heu d'ajustar la font d'alimentació a la tensió desitjada abans de connectar-la al vostre circuit.

El primer pas en la verificació del correcte funcionament de l'etapa amplificadora és la comprovació de les tensions contínues en els diferents nodes del circuit quan encara no hi ha connectat cap senyal altern d'entrada. Mesureu les tensions en contínua a les dues entrades de l'AO i també a la seva sortida.

**Qüestió L2.1.** Quina és la tensió contínua mesurada en cadascun dels tres nodes? Justifiqueu la validesa de l'aproximació del curtcircuit virtual emprada en els càlculs de l'estudi previ.

El següent pas és la comprovació del comportament de l'etapa amplificadora en alterna. Comproveu primer el comportament amb un senyal sinusoïdal de 40 kHz. Heu d'utilitzar el generador de funcions (GF) del vostre lloc de treball per generar aquest senyal sinusoïdal d'entrada que ha de tenir una amplitud aproximada d'uns 10 mV. Mesureu amb els dos canals de l'oscil·loscopi tant el senyal d'entrada com el senyal de sortida.

**Qüestió L2.2.** Doneu l'amplitud dels senyals mesurats a l'entrada i a la sortida de l'etapa amplificadora. Quin és el seu guany a 40 kHz? Quin és el desfasament introduït per l'etapa?

Mesureu el mòdul de la resposta freqüencial de l'etapa amplificadora seguint el mateix procediment que en la qüestió anterior per a diferents freqüències: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 75 kHz, 100 kHz, 500 kHz i 1 MHz.

**Qüestió L2.3.** Ompliu la taula següent amb les mesures realitzades i dibuixeu en un gràfic el guany mesurat en funció de la freqüència. Dibuixeu també aquesta resposta freqüencial amb el guany en dB i l'eix de les freqüències en escala logarítmica (diagrama de Bode).

Freqüència	100 Hz	1 kHz	10 kHz	25 kHz	40 kHz	75 kHz	100 kHz	500 kHz	1 MHz
$V_{i1}$									
$V_{o1}$									
Guany									
Guany (dB)									

## SEGONA SESSIÓ DE TREBALL AL LABORATORI

### 3. Implementació i caracterització de l'amplificador complet

Aquesta sessió consistirà en la verificació del correcte funcionament del muntatge i la caracterització de l'amplificador de tensió complet (dues etapes amplificadores en cascada).

Munteu l'amplificador complet afegint la segona etapa amplificadora al circuit de la sessió anterior en la protoboard. Recordeu que l'alimentació és de  $V_{cc} = 12\text{ V}$ . Sense cap senyal altern a l'entrada de l'amplificador, mesureu les tensions contínues a les dues entrades i la sortida dels dos AO.

#### Qüestió L3.1. Quines són les tensions mesurades?

Mesureu el guany de l'amplificador complet a 40 kHz. Heu d'utilitzar el GF per generar un senyal sinusoidal d'entrada amb una amplitud aproximada de 10 mV. Measureu l'amplitud del senyal d'entrada  $V_{i1}$ , del senyal de sortida de la primera etapa  $V_{o1}$  i del senyal de sortida de l'amplificador complet  $V'_{o1}$ .

#### Qüestió L3.2. Quin és el guany mesurat en cadascuna de les dues etapes a 40 kHz? Quin és el guany mesurat de l'amplificador complet?

Mesureu la resposta freqüencial en guany de l'amplificador complet de la mateixa forma que ho havíeu fet per a la primera etapa en la sessió anterior. Heu de mesurar el guany a diferents freqüències: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 75 kHz, 100 kHz, 500 kHz i 1 MHz.

#### Qüestió L3.3. Ompliu la taula següent i dibuixeu en un gràfic el guany en dB mesurat en funció de la freqüència.

Freqüència	100 Hz	1 kHz	10 kHz	25 kHz	40 kHz	75 kHz	100 kHz	500 kHz	1 MHz
$V_{i1}$									
$V'_{o1}$									
Guany									
Guany (dB)									

Tornant a una freqüència del senyal d'entrada de 40 kHz, augmenteu l'amplitud del senyal d'entrada de l'amplificador per trobar quin és el seu marge dinàmic d'entrada.

#### Qüestió L3.4. Quina és l'amplitud màxima d'entrada sense que hi hagi distorsió (saturació del senyal de sortida de l'amplificador)?

A continuació, es vol veure quin és el màxim canvi de tensió per unitat de temps pot assolir l'AO utilitzat. Augmenteu l'amplitud i la freqüència del senyal del GF fins que veieu que el senyal de sortida de l'amplificador no canvia. Fixeu-vos en que ja no canviïn els pendents del senyal.

#### Qüestió L3.5. Presenteu la captura del senyal de sortida amb l'oscil·loscopi. Quina és la màxima variació de la tensió per unitat de temps (SR) del senyal de sortida de l'amplificador?

Finalment, un cop hagueu assegurat el correcte funcionament de l'amplificador en la protoboard, **cal prendre nota dels valors finals dels components** que soldareu en la PCB que també fareu servir en el mesurador de distància mitjançant ultrasons de la Pràctica 6 de l'assignatura.

#### Qüestió L3.6. Dibuixeu l'esquema elèctric definitiu de l'amplificador amb els valors de tots els components, un cop heu assegurat el seu funcionament i l'acompliment de les especificacions plantejades.

## TERCERA SESSIÓ DE TREBALL AL LABORATORI

### 4. Soldadura de l'amplificador en la PCB i verificació del seu funcionament

L'amplificador que heu dissenyat s'utilitzarà en el sistema mesurador de distàncies mitjançant ultrasons que fareu més endavant en la Pràctica 6. El mesurador es realitzarà soldant els circuits que el componen en una placa de circuit imprès (PCB).

En aquesta sessió heu de soldar en la PCB la part corresponent a l'amplificador així com alguns altres components per poder fer la comprovació del seu correcte funcionament.

Consulteu la informació que es troba penjada a ATENEA amb les fotos (fitxer "Fotos PCB.pdf") i l'esquema elèctric (fitxer "Esquema mesurador distancia per ultrasons.pdf") d'aquesta PCB. Consulteu també el document del fitxer "FISE Instruccions Soldadura.pdf" que conté unes nocions bàsiques per començar a soldar els circuits.

#### Soldadura de l'amplificador a la PCB

Els circuits integrats no es soldaran directament a la PCB per facilitar el seu canvi en cas de detectar algun problema en el seu funcionament. Per això, el **primer pas és soldar el sòcol per al circuit integrat** corresponent als AOs TLC082. Vigileu que el sòcol estigui amb la disposició correcta (la marca del sòcol i la marca de l'empremta a la PCB han de coincidir).

Soldeu els components corresponents a l'esquema definitiu de l'amplificador obtingut en la qüestió L3.6. Consulteu l'esquema elèctric de la PCB per identificar cada component mitjançant la serigrafia d'aquesta PCB.

Per facilitar la verificació dels circuits, la PCB inclou tota una sèrie de punts de tests i connectors que també cal soldar. A la pàgina 9 d'aquest document, teniu la llista amb la foto d'aquests components que us facilitarà la seva identificació. A l'entrada de l'amplificador cal soldar el connector **J2 (connector mascle d'una fila i dues vies)** per poder aplicar el senyal d'entrada de prova. Entre les dues etapes cal soldar el connector **JP10 (connector mascle d'una fila i dues vies)** que permetrà connectar o desconectar la segona etapa de l'amplificador mitjançant un *jumper*. Soldeu també els **punts de test J10 i J20** per poder connectar l'oscil·loscopi a les sortides dels dos AO i el **punt de test J11** corresponent a massa (GND).

#### Verificació del funcionament de l'amplificador soldat a la PCB

Abans d'inserir el circuit integrat TLC082 al seu sòcol, alimenteu la PCB mitjançant els connectors banana vermell i negre amb una tensió d'alimentació de  $V_{CC} = 12\text{ V}$  i comproveu que el funcionament de la font d'alimentació és correcte i el consum de corrent no sigui massa gran per motiu d'algun curtcircuit involuntari produït durant la soldadura dels components. Un cop feta aquesta comprovació, inseriu el circuit integrat TLC082 en el sòcol soldat a la PCB.

La comprovació experimental del correcte funcionament de l'amplificador es pot fer aplicant un senyal d'entrada amb el generador de funcions (GF) i mesurant amb l'oscil·loscopi el senyal a la sortida de cadascuna de les etapes:

- Connecteu el GF al **connector J2** d'entrada de l'amplificador. Ajusteu el senyal de sortida del GF de la mateixa forma que vàreu fer en les proves de les sessions anteriors (senyal sinusoidal de 40 kHz amb una amplitud aproximada de 10 mV per evitar que es saturi la sortida de la segona etapa). També heu de visualitzar aquest mateix senyal aplicat a l'entrada en el canal I de l'oscil·loscopi.

- Mesureu primer la sortida de la primera etapa de l'amplificador connectant el canal II de l'oscil·loscopi al **punt de test J10** (Vamp1).

**Qüestió L4.1.** *Quin és el guany de la primera etapa?*

- Mesureu després la sortida de la segona etapa connectant el canal II de l'oscil·loscopi al **punt de test J20** (Vamp2). Heu d'inserir un *jumper* en el **connector JP10** per a que estiguin connectades les dues etapes de l'amplificador.

**Qüestió L4.2.** *Quin és el guany de l'amplificador complet?*

**Soldadura de la resta de sòcols, connectors i punts de test de la PCB**

Per avançar feina de la Pràctica 6, soldeu els següents elements de la placa:

- Sòcols de 8 pins dels circuits integrats **IC2**, **U1** i **U2** que s'utilitzaran en aquella pràctica.
- Punts de test **J30**, **J40**, **J50**, **J60** i **J61**.
- Connectors **J4** (connector mascle d'una fila i dues vies), **JP20** i **JP30** (connectors mascles de dues files i dues vies) i **JP60** (connector mascle de tres files i dues vies).

La resta de parts de la PCB s'estudiaran i soldaran en la Pràctica 6 dedicada al sistema de mesura de distància mitjançant ultrasons.



## LLISTA DE COMPONENTS

La llista de components necessaris en les Pràctiques 4 i 6 és la següent:

QUANTITAT	COMPONENT	
1	PCB USoundBoard	
1*	CÀPSULA TRANSMISSORA ULTRASONS MCUST16P40B12RO	
1*	CÀPSULA RECEPTORA ULTRASONS MCUSR16P40B12RO	
2*	AMPLIFICADORS OPERACIONALS TLC082 DIP-8	
2*	TIMERS NE555 DIP-8	
1*	CD4049 HEX INVERTING BUFFER	
3	DÍODES 1N4148	
2	FAMÍLIES COMPLETES RESISTÈNCIES 5% 1/4W de 100Ω a 1MΩ	
3	POTENCIÒMETRES PT-10 LH 10kΩ	
1	POTENCIÒMETRE PT-10 LH 50kΩ	
2	CONDENSADORS ELECTROLÍTICS 25V 10μF	
2	CONDENSADORS ELECTROLÍTICS 25V 1μF	
1	CONDENSADOR POLIÉSTER MKT 63V 220nF	
10	CONDENSADORS POLIÉSTER MKT 63V 100nF	
5	CONDENSADORS POLIÉSTER MKT 63V 10nF	
1	CONDENSADOR CERÀMIC 1nF	
1	CONDENSADOR CERÀMIC 330pF	
4	SÒCOLS PER A CIRCUIT INTEGRAT DE 8 PINS	
3	CONNECTORS MASCLES D'1 FILA I 2 VIES DE 2,54 mm	
2	CONNECTORS MASCLES DE 2 FILES I 2 VIES DE 2,54 mm	
1	CONNECTOR MASCLE DE 3 FILES I 2 VIES DE 2,54 mm	
10	PUNTS DE TEST: Longitud 4,65 mm. Diàmetre 1,3 mm	
5*	JUMPERS DE DUES VIES 2,54 mm	
1*	TORNAVÍS PETIT (per ajustar potenciòmetres)	

Tot el material, PCB i components, el guardareu sempre en la caixa en la que escriureu els vostres noms, i que deixareu en el lloc del tècnic de laboratori en finalitzar cada sessió. **Aquesta caixa amb els components assenyalats amb un asterisc s'hauran de retornar quan s'acabi el curs.**