



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

ELECTRÒNICA APLICADA

del Grau d'ENGINYERIA BIOMÈDICA

**ESTUDI I DISSENY D'UN POTENCIOSTAT
PER MESURAR UNA CEL·LA
ELECTROQUÍMICA**

Autors: Yaiza Montes Cebrián.
Jaime Punter Villagrasa.
Jaime López Sánchez.
Pere Miribel Català.
Jordi Colomer Farrarons.



Taula de continguts

Sessió 0. Introducció al estudi i disseny d'un potenciostat per a mesurar una cel·la electroquímica	2
Sessió 1. Introducció al Biopotenciostat.....	8
Sessió 2. Modelització d'una cel·la electroquímica	10
Sessió 3. Caracterització d'una cel·la electroquímica	12
Sessió 4 . Estudi de les etapes bàsiques d'un biopotenciostat	16
Sessió 5. Estudi d'un amplificador de transimpedància	23
Sessió 6. Estudi de les limitacions del biopotenciostat.....	28
Sessió 7. Eliminació de soroll en els sistemes de mesura.....	34
Sessió 8. Estudi funcional d'un biopotenciostat	38

Sessió 0. Introducció al estudi i disseny d'un potencioestat per a mesurar una cel·la electroquímica

1. INTRODUCCIÓ

Un biosensor és un sistema de mesura per a la detecció d'un analit que combina un component biològic amb un detector fisicoquímic. Els biosensors electroquímics són el major grup de sensors químics. Tots ells es basen en la fixació d'algunes variables de la cel·la electroquímica i la comprovació de com les altres variables canvien amb les fluctuacions de les variables controlades. Els principis electrònics involucrats en el disseny de la seva instrumentació es defineixen per l'amplificador potencioestat

El projecte a desenvolupar es basa en el disseny i caracterització d'un amplificador potencioestat per a realitzar mesures de biosensor electroquímics.

2. OBJECTIUS

L'objectiu de les sessions pràctiques és que els estudiants siguin capaços de realitzar un projecte en totes les seves fases: estudi de l'art, disseny, simulació, implementació i caracterització d'un prototip i d'una placa de circuit imprès i documentació.

2.1. Estudi de l'art. La primera fase del projecte és la recerca de informació. L'estudiant haurà de ser capaç de trobar informació tècnica i comercial, tant en llengua nativa com llengua anglesa, i extreure la informació rellevant en relació a la informació disponible.

2.2. Disseny. La segona fase és el disseny de circuits electrònics que permetin l'estudi del biosensor o dels sistemes de mesura, en aquest cas del biopotencioestat. L'estudiant haurà de ser capaç de realitzar l'esquemàtic i realitzar un estudi analític del circuit electrònic.

2.3. Simulació. A nivell professional, a més de realitzar un estudi analític, es recomanable utilitzar eines informàtiques per a garantir que els resultats són els esperats. A nivell electrònic el simulador més utilitzat és el SPICE. L'alumne haurà de ser capaç de realitzar els anàlisis necessaris a partir de l'eina de simulació SPICE.

2.4. Implementació i caracterització del prototip. Abans de realitzar una placa de circuit imprès és necessari realitzar proves de funcionament amb un prototip. L'estudiant haurà de ser capaç de implementar els prototips necessaris per a validar el correcte funcionament del potencioestat i realitzar les mesures més adients.

2.5. Implementació i caracterització del circuit imprès. La implementació i caracterització final d'un sistema electrònic es realitza amb una placa de circuit imprès Degut a la dificultat temporal per a realitzar totes les fases del projecte s'ha decidit que els alumnes treballaran amb plaques de circuits imprès però no realitzaran la seva implementació. D'aquesta forma l'estudiant serà capaç de relacionar una placa de circuit imprès amb els esquemàtics realitzats en la fase de disseny i serà capaç de realitzar les mesures necessàries per validar el seu correcte funcionament.

2.6. Documentació. L'última fase d'un projecte és la documentació. L'estudiant haurà de ser capaç de ressaltar els aspectes més rellevants de tot el projecte i presentar les característiques del sistema implementat en un document tècnic normalitzat.

Al finalitzar el projecte l'alumne serà capaç de:

- Realitzar una recerca d'informació relativa a un sistema electrònic biomèdic.
- Analitzar la informació obtinguda i realitzar una síntesis.
- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa, espanyola i catalana.
- Explicar el disseny d'un equip biomèdic a partir dels elements bàsics que el componen.
- Explicar la importància dels models elèctrics per a explicar el comportament bioelèctric.
- Utilitzar el programa LTSPICE per a estudiar el comportament de circuits de forma simulada.
- Extreure informació bioelèctrica a partir de simulacions elèctriques.
- Explicar el funcionament dels sistemes electrònics bàsics (inversor, sumador, no inversor i TIA).
- Explicar la importància de les no linealitats en sistemes biomèdics (tensió d'offset, d'impedància d'entrada, corrents de fuites i *slew rate*)
- Treballar amb els equips electrònics bàsics (generador de funcions, oscil·loscopi, multímetre i font de tensió).
- Caracteritzar un sistema electrònic a partir dels equips biomèdics bàsics
- Explicar el concepte de Diagrama de Bode i extreure informació d'aquests diagrames.
- Dissenyar i caracteritzar filtres analògics per a la eliminació de soroll.
- Caracteritzar un sistema biomèdic (en aquest cas un biopotenciostat).
- Elaborar un informe tècnic amb una estructura de projecte.

3. MATERIAL NECESSARI

1. Manual d'utilització de LTSPICE [1].
2. Simulador LTSPICE [2]
3. Document tècnic "Portable Bio-Devices" [3]
4. Document tècnic "Bioelectronics form Amperometric Biosensors" [4]
5. Manual d'utilització de VERiLAB [5].
6. Laboratori virtual VERiLAB [6].
7. Sistema electrònic de ràpid prototipatge.
8. Manual d'utilització de la placa de circuit imprès d'un biopotenciostat.
9. Placa de circuit imprès d'un biopotenciostat.
10. Equips electrònics de laboratori: generador de funció, font d'alimentació i oscil·loscopi.
11. Material fungible de laboratori: resistències, condensadors i amplificadors operacionals.

4. METODOLOGIA

La metodologia de treball es l'aprenentatge basat en projectes (PBL). Es planteja com a problema l'estudi i implementació d'un biopotenciostat realitzant les fases típiques d'un projecte. El professor farà de supervisor de l'aprenentatge i haurà de guiar a l'alumnat per a garantir el correcte desenvolupament del projecte. De forma orientativa es proposa realitzar el projecte en 8 sessions que temporalment correspondran a una o dues setmanes lectives per sessió.

Les sessions a realitzar són les següents:

1. Introducció al Biopotenciostat
2. Modelització i anàlisi d'una cel·la electroquímica
3. Caracterització d'una cel·la electroquímica
4. Estudi funcional de les etapes bàsiques d'un biopotenciostat
5. Estudi funcional d'un amplificador de transconductància (TIA)
6. Estudi avançat de les etapes d'un biopotenciostat
7. Eliminació de soroll en els sistemes de mesura
8. Estudi funcional d'un biopotenciostat

En cada sessió es realitzarà un estudi previ que s'haurà de portar al laboratori en la seva hora lectiva on es realitzarà la part experimental a partir de l'estudi previ realitzat.

En la sessió 1 serà d'introducció al biopotenciostat i a la metodologia de les pràctiques. L'alumne haurà de realitzar unes lectures prèvies. En les següents pràctiques també es realitzaran lectures tècniques de forma prèvia a la sessió pràctica.

En la sessió 2 es treballarà amb el simulador elèctric LTSPICE, aquest simulador s'utilitzarà per a estudiar els circuits i els conceptes que es treballaran en la resta de sessions.

En la sessió 3 s'utilitzarà una placa de proves per que els alumnes coneguin aquesta eina com a primer pas per a realitzar la primera caracterització d'un circuit. Es treballarà per primera vegada amb els equips electrònics bàsics i s'utilitzaran en la resta de pràctiques.

En les sessions 4, 5 i 6 es treballarà amb un sistema de ràpid prototipatge per a comprovar el funcionament dels circuits de forma ràpida i per validar el conceptes no ideals dels circuits electrònics.

En les sessions 7 i 8 es treballarà amb una placa de circuit imprès d'un biopotenciostat. Aquesta placa s'ha dissenyat i elaborat de forma professional i servirà com a exemple de producte final d'un sistema electrònic.

Sessió 1: Biopotenciostat

Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Realitzar una recerca d'informació relativa al biopotenciostat (aplicacions, principi de funcionament, equips comercials, característiques principals)
- Analitzar la informació obtinguda
- Anàlisi de síntesis i redacció d'un document tècnic amb la informació obtinguda

Sessió 2: Modelització i anàlisi d'una cel·la electroquímica Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de: • Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.

- Explicar la relació entre el model elèctric del circuit “Randles” i una cel·la electroquímica
- Utilitzar el programa de simulació elèctrica LTSPICE.
- Realitzar una simulació amb el programa LTSPICE del circuit “Randles” .
- Extreure els paràmetres significatius de la cel·la electroquímica a partir de les simulacions realitzades.

Sessió 3: Caracterització d'una cel·la electroquímica Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Treballar amb els equips electrònics bàsics per a realitzar la caracterització d'un sistema electrònic (generador de funcions, oscil·loscopi, multímetre i font de tensió).
- Implementar un circuit electrònic en una placa de proves.
- Realitzar mesures elèctriques per a caracteritzar el model elèctric d'una cel·la electroquímica.
- Extreure els paràmetres significatius de la cel·la electroquímica a partir de la caracterització realitzada.
- Anàlisi de síntesis i redacció d'un document tècnic amb el treball realitzat a les sessions 2 i 3.

Sessió 4: Estudi funcional de les etapes bàsiques d'un biopotenciostat Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.
- Indicar quines són les configuracions bàsiques del biopotenciostat basades en l'amplificador operacional (inversor, sumador y seguidor).
- Explicar el funcionament d'aquestes estructures bàsiques i la seva aplicació.
- Realitzar simulacions elèctriques per a validar el funcionament d'aquestes configuracions.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a realitzar la caracterització d'un inversor i un sumador.

Sessió 5: Estudi funcional d'un amplificador de transconductància (TIA) Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.
- Explicar el funcionament d'un TIA i la seva aplicació.
- Explicar la problemàtica d'aquests circuits amb la tensió *d'offset*.
- Realitzar simulacions elèctriques per a validar el funcionament d'un TIA.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a realitzar la caracterització d'un TIA
- Comprovar la problemàtica de la tensió *d'offset* amb un circuit TIA

Sessió 6: Estudi avançat de les etapes d'un biopotenciostat Al finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació tècnica.
- Explicar els conceptes d'impedància d'entrada, corrents de fuites i *slew rate*.
- Explicar la importància d'aquests conceptes en un biopotenciostat.
- Explicar la importància del seguidor de tensió en un biopotenciostat.
- Realitzar simulacions elèctriques per a explicar els conceptes d'impedància d'entrada, corrents de fuites i *slew rate*.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a mesurar la impedància d'entrada d'un circuit.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a caracteritzar un seguidor de tensió en adaptació de impedància
- Anàlisi de síntesis i redacció d'un document tècnic amb el treball realitzat a les sessions 3, 4 i 5.

Sessió 7: Eliminació de soroll en els sistemes de mesura Al
finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació tècnica.
- Explicar què és un diagrama de Bode i quina és la seva aplicació.
- Explicar els conceptes de filtres passa baixos, passa alts, passa banda i elimina banda.
- Explicar els paràmetres bàsics d'un filtre: banda passant, freqüències de tall, guany, pendent.
- Explicar la utilitat dels filtres per a la eliminació de soroll.
- Analitzar matemàticament un circuit electrònic per a obtenir la seva funció de transferència.
- Obtenir els paràmetres bàsics d'un filtre a partir de la funció de transferència.
- Realitzar una simulació elèctrica per a obtenir el diagrama de Bode de un filtre.
- Obtenir els paràmetres bàsics d'un filtre a partir del diagrama de Bode.
- Identificar els components utilitzats en una placa de circuit imprès professional. • Identificar la funcionalitat de cada component en l'aplicació de filtres.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a realitzar un diagrama de Bode d'un filtre.
- Obtenir els paràmetres bàsics d'un filtre a partir dels resultats obtinguts.

Sessió 8: Estudi funcional d'un biopotenciostat Al
finalitzar la sessió l'alumne serà capaç de:

- Explicar el funcionament d'un amplificador de transimpedància i d'un d'instrumentació.
- Realitzar els càlculs teòrics d'aquest dos sistemes amplificadors.
- Utilitzar el guany més adient depenent de la cèl·lula a estudi.
- Realitzar una simulació per validar el funcionament d'aquest dos sistemes amplificadors.
- Identificar els components que formen un amplificador de transimpedància i d'un d'instrumentació.
- Validar experimentalment el funcionament d'aquest dos sistemes amplificadors.



- Aplicar diferents tècniques d'eliminació de soroll en sistemes de mesura de senyals bioelèctriques.

Sessió 1. Introducció al Biopotenciostat

1. INTRODUCCIÓ

Abans de dissenyar i implementar un equip electrònic és necessari conèixer el seu funcionament i les seves característiques bàsiques. En aquesta sessió els estudiants hauran de realitzar una lectura prèvia de diferents articles per a realitzar una introducció al projecte que hauran de desenvolupar en les diferents sessions de laboratori.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llegua anglesa.

- Realitzar una introducció d'un instrument electrònic.

3. MATERIAL NECESSARI

- Document tècnic "Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample"[1].
- Document tècnic "An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device" [2]
- Document tècnic "Bioelectronics for Amperometric Biosensors, State of the Art in Biosensors - General Aspects" [3]
- Document tècnic "Portable Bio-Devices: Design of electrochemical instruments from miniaturized to implantable devices, New Perspectives in Biosensors Technology and Applications" [4].

4. ACTIVITAT PRÈVIA

4.1 Lectura dels documents tècnics [1]-[4]

És demana que realitzeu una introducció, d'una pàgina d'extensió com a màxim, a partir dels apartats 2, 2.1, 2.2, 3 i 3.1 de la referència [3] i a partir dels apartats 2.3.1, 2.3.2, 2.4.1 i 2.4.2 de la referència [4].

El text ha de definir que és un biosensor, indicar les aplicacions, explicar els tipus de biosensors, definir un biosensor electroquímic, definir un biosensor amperomètric, explicar quines tècniques de mesura s'utilitzen i definir que és un potenciostat. Aquesta informació s'ha d'ajuntar a l'informe tècnic a l'apartat 1.

5. FÒRUM DE TREBALL

5.1 Preguntes al fòrum.

Després de realitzar les lectures indicades realitzeu com a mínim dos preguntes al fòrum. Es tindrà en compte la qualitat de les preguntes.

Referencies

[1] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Colomer-Farrarons, J.; Rodriguez-Villarreal, I.; Miribel-Catala,



P.Ll. Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 2014, doi:10.1109/TBME.2014.2364139.

- [2] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Páez-Avilés, C.; Rodríguez-Villarreal, I.; Juanola-Feliu, E.; ColomerFarrarons, J.; Miribel-Català, P.L. An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device. *Sensors* **2015**, *15*, 4564-4577.
- [3] Jaime Punter Villagrasa, Jordi Colomer-Farrarons and Pere Ll. Miribel (2013). Bioelectronics for Amperometric Biosensors, State of the Art in Biosensors - General Aspects, Dr. Toonika Rincken (Ed.), ISBN: 978-953-51-1004-0, InTech, DOI: 10.5772/52248. Available from: <http://www.intechopen.com/books/state-of-the-art-in-biosensors-general-aspects/bioelectronics-foramperometric-biosensors>
- [4] Jordi Colomer-Farrarons, Pere Ll. Miribel-Català, A. Ivón Rodríguez-Villarreal and Josep Samitier (2011). Portable Bio-Devices: Design of electrochemical instruments from miniaturized to implantable devices, New Perspectives in Biosensors Technology and Applications, Prof. Pier Andrea Serra (Ed.), ISBN: 978-953-307-448-1, InTech, DOI: 10.5772/17212. Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-biosensors-technology-andapplications/portable-bio-devices-design-of-electrochemical-instruments-from-miniaturized-toimplantable-devices>

Sessió 2. Modelització d'una cel·la electroquímica

1. INTRODUCCIÓ

Quan s'inicia el procés de disseny d'un instrument de mesura per a l'àmbit biomèdic, el primer pas fonamental és conèixer el nostre anàlit o element a mesurar. Quan es tracta d'un instrument electrònic, és el model elèctric del nostre anàlit una eina clau per dissenyar i desenvolupar el nostre equip. Un cop es disposa del model elèctric existeixen diferents programes per a realitzar els primers estudis basats en la simulació elèctrica. En aquesta sessió utilitzarem el simulador LTSPICE. Hi ha diversos models desenvolupats per a diferents situacions, com el circuit de Randles, on s'estudia la interacció elèctrode electròlit. En aquesta sessió s'estudiarà com és la modelització d'una cel·la electroquímica i quines són les simulacions que es poden realitzar per a estudiar el seu comportament.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.
- Explicar la relació entre el model elèctric d'una cel·la electroquímica
- Utilitzar el programa de simulació elèctrica LTSPICE.
- Realitzar una simulació amb el programa LTSPICE del model elèctric d'una cel·la electroquímica” .
- Extreure els paràmetres significatius de la cel·la electroquímica a partir de les simulacions realitzades.

3. MATERIAL NECESSARI

- Manual d'utilització de LTSPICE
- Simulador LTSPICE
- Document tècnic “Towards an Anaemia Early Detection Device”
- Document tècnic “An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection”
- Document tècnic “Portable Bio-Devices”
- Document tècnic “Bioelectronics form Amperometric Biosensors”

4. ACTIVITAT PRÈVIA

4.1 Antecedents de grup i estat actual

En la sessió anterior es van realitzar una introducció dels biosensors i especialment es van comentar els biosensors. En aquesta sessió s'ha de comentar els estudis i anàlisis que ha realitzat el grup SIC-BIO referent als biopotenciostat. Aquesta informació s'ha d'extreure de les lectures anteriors però sobre tot del resum

(abstract) i de les conclusions dels articles [1] i [2] i s'ha d'ajuntar a l'apartat 2.1 (antecedents del grup).

A més s'ha de buscar informació referent a l'estat actual dels biopotenciostats. En aquest sentit es demana que es faci una recerca d'informació d'articles actuals (3 últims anys com a mínim) relatius a biopotenciostats, indicant la situació actual dels mateixos. El que es demana és una visió general de l'estat actual a partir de la informació del resum i de les conclusions. La informació s'ha d'ajuntar en l'apartat 2.2 de l'informe tècnic.

5. TREBALL DE LABORATORI

5.1 Simulador Elèctric LTSPICE

Per a entendre a utilitzar el simulador LTSPICE en el laboratori s'ha de seguir els passos indicats en el "Manual d'utilització de LTSPICE".

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Realització d'un diagrama de Bode del model de Randles

Com s'ha comentat en la introducció, és necessari conèixer el funcionament del biosensor per a poder dissenyar correctament el sistema de mesura. Per a realitzar un estudi analític i per a simular el seu comportament s'ha de realitzar un model electrònic. Un possible model és el circuit de Randles. En els articles 3 i 4 es comenta el model de Randles.

Realitzeu un diagrama de Bode d'aquest model elèctric on l'entrada estarà en el *Counter Electrode*, la sortida en el *Reference Electrode* i *Working Electrode* anirà a massa. Els valors que s'ha d'utilitzar són: $R_{ref}=R_{aux}=1M\Omega$ i $C_{ref}=390pF$. Aquest estudi s'ha d'incorporar en l'apartat 4.1 del document tècnic

Referències

- [1] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Colomer-Farrarons, J.; Rodríguez-Villarreal, I.; Miribel-Catala, P.L. Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 2014, doi:10.1109/TBME.2014.2364139.
- [2] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Páez-Avilés, C.; Rodríguez-Villarreal, I.; Juanola-Feliu, E.; Colomer-Farrarons, J.; Miribel-Català, P.L. An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device. *Sensors* 2015, *15*, 4564-4577.
- [3] Jaime Punter Villagrasa, Jordi Colomer-Farrarons and Pere Ll. Miribel (2013). Bioelectronics for Amperometric Biosensors, State of the Art in Biosensors - General Aspects, Dr. Toonika Rinken (Ed.), ISBN: 978-953-51-1004-0, InTech, DOI: 10.5772/52248. Available from: <http://www.intechopen.com/books/state-of-the-art-in-biosensors-general-aspects/bioelectronics-for-amperometric-biosensors>
- [4] Jordi Colomer-Farrarons, Pere Ll. Miribel-Català, A. Ivón Rodríguez-Villarreal and Josep Samitier (2011). Portable Bio-Devices: Design of electrochemical instruments from miniaturized to implantable devices, New Perspectives in Biosensors Technology and Applications, Prof. Pier Andrea Serra (Ed.), ISBN: 978-953-307448-1, InTech, DOI: 10.5772/17212. Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-biosensors-technology-and-applications/portable-bio-devices-design-of-electrochemical-instruments-from-miniaturized-to-implantable-devices>

Sessió 3. Caracterització d'una cel·la electroquímica

1. INTRODUCCIÓ

Referent a l'estat de l'art d'un informe tècnic és important estudiar les necessitats del mercat i conèixer les característiques bàsiques dels instruments comercials. Referent al model de la cel·la electroquímica és important, abans de continuar amb els estudis, comprovar que el seu comportament és l'esperat.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Obtenir informació comercial d'un equip i extreure les seves característiques principals.
- Realitzar càlculs de circuits per a obtenir els valors esperats.
- Obtenir la funció de transferència d'un model elèctric i extreure-li informació.
- Treballar amb els equips electrònics bàsics per a realitzar la caracterització d'un sistema electrònic (generador de funcions, oscil·loscopi, multímetre i fon de tensió).
- Implementar un circuit electrònic en una placa de proves.
- Realitzar mesures elèctriques per a caracteritzar el model elèctric d'una cel·la electroquímica.
- Extreure els paràmetres significatius de la cel·la electroquímica a partir de la caracterització realitzada.
- Anàlisi de síntesis i redacció d'un document tècnic amb el treball realitzat.

3. MATERIAL NECESSARI

- 2 resistències de $1M\Omega$.
- 1 condensador de $390pF$.
- Una font de tensió continua
- Un generador de funcions
- Un multímetre
- Un oscil·loscopi

4. ACTIVITAT PRÈVIA

4.1 Anàlisi de mercat

En l'apartat estat de l'art s'ha d'incloure informació relativa als equips comercials indicant les seves característiques principals: aplicació, rang de mesura, preu, etc. Busca informació de biopotenciostat comercials indicant les seves característiques més rellevants des del punt de vista electrònic.

4.2 Anàlisi en DC del model de la cel·la electroquímica

En la sessió 2 es va realitzar un diagrama de Bode del model de cel·la electroquímica amb uns valors de $R_{ref}=R_{aux}=1M\Omega$ i $C_{ref}=390pF$ on l'entrada estava en el *Counter*

Electrode, la sortida en el *Reference Electrode* i *Working Electrode* anava a massa. En aquest apartat es demana calcular valors elèctrics d'aquest model.

En el cas de treballar en contínua (considerar només les resistències) dibuixeu el circuit elèctric i obteniu analíticament el guany entre la tensió d'entrada i la tensió de sortida.

En el cas de què l'entrada siguin de 5V indiqueu la tensió a la sortida i els corrents que passen pel circuit.

A partir del programa LTSPICE realitzeu la simulació pertinent per a obtenir la tensió a la sortida i els corrents que passen per les resistències. Compareu els resultats obtinguts analíticament amb els de la simulació.

El treball obtingut ha d'anar a l'aparat 4.1 de l'informe tècnic.

4.3 Diagrama de Bode de la cel·la electroquímica

A partir del diagrama de Bode realitzat en la sessió 2 es pot comentar quin comportament té el model.

Obteniu la funció de transferència de tot el sistema i indiqueu, el valor de la freqüència de tall, del guany en contínua i del pendent en la banda atenuada.

Obteniu aquests mateixos valors a partir de la simulació LTSPICE.

Compareu els valors obtinguts analíticament i els de la simulació.

En la referència 4 es mostra un diagrama de Bode, compareu aquest diagrama amb el de la simulació.

El treball obtingut ha d'anar a l'aparat 4.1 de l'informe tècnic.

5. TREBALL DE LABORATORI

En aquesta sessió s'utilitzarà una placa de proves per a què els alumnes coneguin aquesta eina com a primer pas per a realitzar la primera caracterització d'un circuit. Es treballarà per primera vegada amb els equips electrònics bàsics (font d'alimentació, multímetre, generador de funcions i oscil·loscopi).

Indiqueu els valors dels components passius que utilitzareu, en el cas de resistències mesureu el seu valor en el multímetre.

5.1 Caracterització en DC del model de la cel·la electroquímica

Indiqueu el valor teòric del corrent que passa per les resistències i de la tensió de sortida.

Munteu el circuit del model de la cel·la electroquímica en la placa de proves i introduïu una tensió de 5V a l'entrada. Mesureu la tensió de sortida i el corrent que passa per les resistències. Doneu els valors.

Compareu aquests valors amb els valors teòrics a partir d'una taula.

5.2 Caracterització en AC del model de la cel·la electroquímica

Introduïu una tensió alterna de 5V a l'entrada i realitzeu un diagrama de Bode en amplitud. Es recomana: Agafar pocs punts en la banda passant; Més de 5 punts a prop de la freqüència de tall i especialment el corresponent a la freqüència de tall, és a dir, el valor on la potència a disminuït a la meitat; Més de 8 punts en la banda atenuada per tal de realitzar una regressió lineal per obtenir el pendent.

A partir de les dades obtingudes doneu el valor experimental del guany en contínua, de la freqüència de tall i del pendent en la banda atenuada.

Compareu aquests valors amb els valors teòrics a partir d'una taula.

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

Caracterització del model de la cel·la electroquímica

A partir del treball realitzat en la sessió 3 es demana introduir en l'apartat 4.2:

- Indiqueu els valors dels components passius utilitzats en el laboratori.
- Indiqueu el valor de la tensió de sortida i el corrent esperat (calculat analíticament a partir de les dades reals dels components passius) en el estudi en DC.
- Comenteu com s'ha realitzat la part experimental de l'estudi en DC.
- Indiqueu els valors mesurats de tensió a la sortida i corrent en el estudi en DC i compareu-los amb els esperats.
- Indiqueu el valor de la tensió en la banda passant i la freqüència de tall esperat en el estudi en AC.
- Comenteu com s'ha realitzat la part experimental de l'estudi en AC.
- Realitzeu una taula amb els valors mesurats de tensió d'entrada i sortida, freqüència i guany en dB.
- Indiqueu el valor de tensió en la banda passant i la freqüència de tall a partir de les dades obtingudes i compareu-los amb els esperats.
- Realitzeu un diagrama de Bode amb els valors obtinguts
- Indiqueu el pendent a en la banda atenuada a partir de una regressió de més de 5 punts.
- La capacitat no s'ha pogut mesurar amb el multímetre, però amb els valors de les resistències i de la freqüència de tall es pot obtenir el seu valor exacte. Doneu el seu valor indicant l'expressió utilitzada.

Sessió 4 . Estudi de les etapes bàsiques d'un biopotenciostat

1. INTRODUCCIÓ

Abans de realitzar una anàlisi exhaustiu del sistema dissenyat és important explicar de forma general en funcionament del sistema i si és possible realitzar un diagrama de blocs del sistema. A més en aquesta sessió s'estudiaran algunes de les configuracions bàsiques de l'amplificador operacional. Aquest estudi facilitarà posteriorment entendre els circuits que conformen el biopotenciostat.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.
- Indicar quines són les configuracions bàsiques del biopotenciostat basades en l'amplificador operacional (no inversor, seguidor, inversor, sumador, etc.).
- Explicar el funcionament d'aquestes estructures bàsiques i la seva aplicació.
- Realitzar simulacions elèctriques per a validar el funcionament d'aquestes configuracions.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per a realitzar la caracterització d'un seguidor, un amplificador no inversor i un amplificador inversor.

3. MATERIAL NECESSARI

- Resistències.
- Una font de tensió continua
- Un generador de funcions
- Un multímetre
- Un oscil·loscopi
- Placa de ràpid prototipatge
- Amplificador operacional TL081

4. ACTIVITAT PRÈVIA

4.1 Enginyeria de concepció

En l'enginyeria de concepció es comenta de forma general el sistema que es vol implementar. Generalment s'utilitza un diagrama de blocs per a realitzar l'explicació. En la figura 3 de la referència 3 es mostra aquest diagrama de blocs. Introduïu aquesta imatge en el document i realitzeu una breu explicació fent especial èmfasi en les dues configuracions: control de potencial i lectura del corrent de cel·la.

Comenteu que hi ha dues possibles solucions per a la lectura del corrent i reforceu el comentari amb les imatges dels circuits presents als articles 1 i 2, indicant quina etapa utilitzen: de transconductància o amb amplificador operacional. Indiqueu també de la figura quina part del circuit correspon a la configuració de lectura del corrent.

Es recomana una extensió màxima de dues pàgines.

4.2 Etapes bàsiques d'un biopotenciostat [5]

En les caselles grises d'aquest document s'indica el contingut que s'ha de posar en l'apartat 4.3 de l'informe tècnic afegint els comentaris que calguin per a que qualsevol persona pugui entendre quins estudis he realitzats i perquè els heu fet.

A) Seguidor de tensió

La primera etapa que estudiarem serà el seguidor de tensió (figura 1).

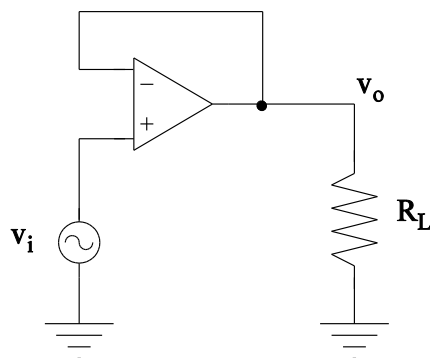


Figura 1. Esquemàtic de l'amplificador operacional com a seguidor de tensió

Indiqueu en quines figures de les quatre referències s'utilitza un amplificador operacional en configuració seguidor de tensió. Indiqueu clarament l'amplificador que realitza aquesta funció.

En principi, sembla que la configuració de seguidor de tensió no tingui una funcionalitat clara, doncs no modifica el senyal d'entrada. La seva utilitat radica en què presenta una alta impedància d'entrada i per aquest motiu s'utilitza per no modificar les prestacions del circuit connectat a la seva entrada.

Per veure aquest efecte, utilitzarem un divisor de tensió aplicat a una càrrega i estudiarem el seu comportament sense utilitzar el seguidor de tensió i utilitzant-lo.

Es disposa d'una font de tensió de 15V en continua però es vol obtenir només 5V a la sortida. Una solució és realitzar un simple divisor de tensió format per dues resistències. Per disminuir les pèrdues energètiques es vol que la potència dissipada pel divisor de tensió sigui inferior a $250\mu\text{W}$.

Indiqueu els valors de resistències utilitzades per aconseguir els 5V i una dissipació en potència inferior a $250\mu\text{W}$. Presenteu els càlculs realitzats.

En introduir una resistència de càrrega de $10\text{K}\Omega$ aquesta quedarà en paral·lel amb la resistència de la part de baix del divisor de tensió.

Torneu a realitzar els càlculs indicant la tensió a la sortida del divisor de tensió.

El que està passant és que les impedàncies de la font de tensió són de valors similars a la impedància de càrrega i això provoca que els dos sistemes estiguin acoblats. Per desacoblar impedàncies es sol utilitzar un seguidor de tensió.

Realitzeu una simulació LTSPICE del divisor de tensió amb el seguidor de tensió i amb la resistència de càrrega a la sortida de l'amplificador operacional. Recordeu que s'ha de polaritzar l'amplificador operacional i que generalment s'utilitza $\pm 15V$.

Presenteu l'esquemàtic realitzar amb LTSPICE.

Doneu el valor en DC obtingut en el divisor de tensió i en la sortida de l'amplificador operacional

B) Amplificador no inversor

En algunes ocasions a més de desacoblar les impedàncies és necessari realitzar una amplificació del senyal. Per aquest objectiu s'utilitza la configuració no inversora (figura 2).

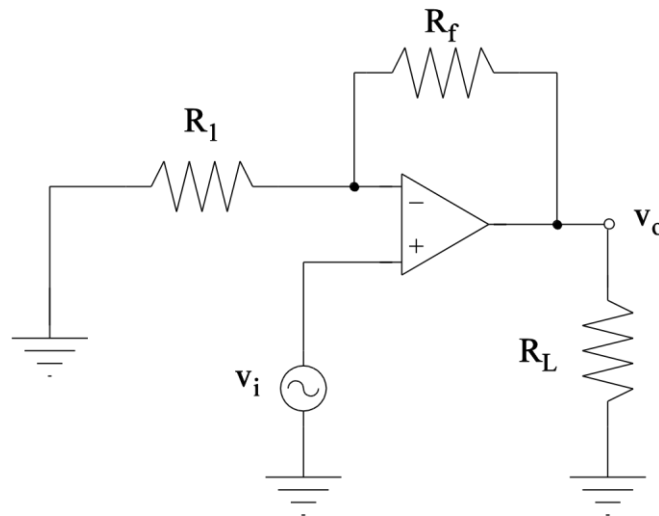


Figura 2. Esquemàtic de l'amplificador operacional en configuració no inversora

Realitzeu l'esquemàtic d'aquesta configuració amb LTSPICE.

Presenteu els càlculs per a obtenir el guany del sistema.

Indiqueu quins valors són els més adients per a obtenir un guany de 10 quan la resistència de càrrega val $10\text{ K}\Omega$

Realitzeu una simulació LTSPICE que visualitzi el senyal d'entrada i el de sortida en funció del temps quan s'aplica un senyal sinusoidal d'1V d'amplitud amb una freqüència

d'1 kHz. Quan es realitza una simulació d'un senyal sinusoidal en funció del temps es recomana que es visualitzin uns 4 períodes.

Mostreu com a resultat el senyal d'entrada i el de sortida en funció del temps.

Augmenteu la tensió d'entrada fins a 2V d'amplitud i torneu a realitzar la simulació.

Mostreu com a resultat el senyal d'entrada i el de sortida en funció del temps i comenteu si observeu alguna anomalia i intenteu explicar perquè succeeix.

C) Amplificador inversor Un altre La configuració que s'utilitza sovint és l'amplificador inversor (figura 3). En aquest cas es proporciona un guany negatiu en funció dels valors de les resistències utilitzades i a més el desacoblament d'impedàncies no és tan efectiu.

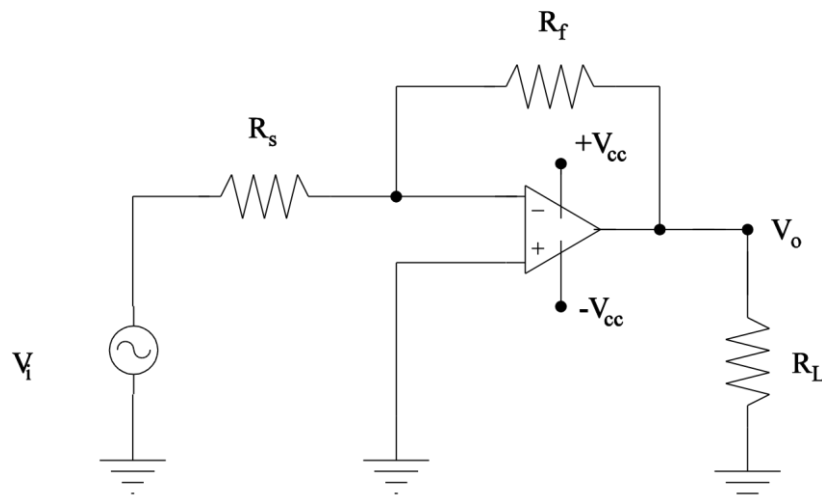


Figura 3. Esquema d'un amplificador operacional en configuració inversora

Realitzeu l'esquemàtic d'aquesta configuració amb LTSPICE.

Presenteu els càlculs per a obtenir el guany del sistema.

Indiqueu quins valors són els més adients per a obtenir un guany de 10 quan la resistència de càrrega val 10 K Ω

Realitzeu una simulació LTSPICE que visualitzi el senyal d'entrada i el de sortida en funció del temps quan s'aplica un senyal sinusoidal d'1V d'amplitud amb una freqüència d'1 KHz. Quan es realitza una simulació d'un senyal sinusoidal en funció del temps es recomana que es visualitzin uns 4 períodes.

Mostreu com a resultat el senyal d'entrada i el de sortida en funció del temps.

D) Característiques de l'amplificador operacional

L'amplificador operacional TL081 és un amplificador d'alta velocitat que és pot utilitzar per muntar un sistema d'amplificació en configuració inversora. Cada xip disposa de 8 connexions i té implementat un únic amplificador. Busqueu el seu full d'especificacions en Internet (també anomenat datasheet). Per aquesta pràctica és d'utilitat saber quina és la tensió màxima d'alimentació que es pot aplicar i com es connecta l'amplificador TL081.

Indiqueu com a referència el link de la pàgina web on heu trobat l'amplificador operacional i indiqueu quina és la casa comercial que fabrica aquest OPAMP.

Realitzeu una taula indicant a quin pin s'ha de connectar els senyals d'entrada $V+$, $V-$, el senyal de sortida V_{out} i les tensions de polarització positiva V_{cc+} i negativa V_{cc-} per

Indiqueu perquè s'utilitzen la resta de pins.

Indiqueu quina és la màxima tensió a la qual es pot alimentar l'amplificador operacional (power supply) i indiqueu si hem superat aquesta tensió.

5. TREBALL DE LABORATORI

Per realitzar de forma més ràpida les tres configuracions utilitzarem la placa de ràpid prototipatge. El professorat comentarà el seu funcionament abans de començar la pràctica.

A) Seguidor de tensió

Comproveu amb la placa de proves la funcionalitat del seguidor de tensió per realitzar experimental el que s'ha simulat prèviament. Mesureu amb el multímetre els valors de les resistències i la tensió del divisor de tensió amb i sense seguidor de tensió.

Comenteu com s'ha realitzat la part experimental.

Indiqueu quina tensió s'espera obtenir amb els valors mesurats sense i amb seguidor de tensió.

Indiqueu la tensió mesurada sense i amb seguidor de tensió.

B) Amplificador no inversor

Comproveu amb la placa de proves la funcionalitat de la configuració no inversora per realitzar experimental el que s'ha simulat prèviament. Visualitzeu el senyal d'entrada i el de sortida amb l'oscil·loscopi.

Comenteu com s'ha realitzat la part experimental.

Doneu el valor del guany mesurat amb l'oscil·loscopi i compareu-lo amb el calculat en l'apartat anterior.

Mostreu el senyal visualitzat en l'oscil·loscopi.

Augmenteu l'amplitud de la tensió d'entrada fins a 2V.

Mostreu el senyal visualitzat en l'oscil·loscopi. Comenteu a què és degut aquest efecte.

C) Amplificador inversor

Comproveu amb la placa de proves la funcionalitat de la configuració inversora per realitzar experimental el que s'ha simulat prèviament. Visualitzeu el senyal d'entrada i el de sortida amb l'oscil·loscopi.

Comenteu com s'ha realitzat la part experimental.

Doneu el valor del guany mesurat amb l'oscil·loscopi i compareu-lo amb el calculat en l'apartat anterior.

Mostreu el senyal visualitzat en l'oscil·loscopi.

Comenteu per què rep el nom de configuració inversora.

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Etapes bàsiques d'un biopotenciostat

A partir del treball realitzat en la sessió 4 es demana introduir en l'apartat 4.3 de l'informe tècnic els apartats esposats en les caselles grises, afegint els comentaris que calguin per a que qualsevol persona pugui entendre quins estudis s'han realitzat i per què els heu fet. El treball i els resultats obtinguts es posaran en cada apartat posteriorment a les simulacions.

Referències

- [1] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Colomer-Farrarons, J.; Rodríguez-Villarreal, I.; Miribel-Catala, P.L. Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 2014, doi:10.1109/TBME.2014.2364139.
- [2] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Páez-Avilés, C.; Rodríguez-Villarreal, I.; Juanola-Feliu, E.; Colomer-Farrarons, J.; Miribel-Català, P.L. An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device. *Sensors* 2015, *15*, 4564-4577.
- [3] Jaime Punter Villagrasa, Jordi Colomer-Farrarons and Pere Ll. Miribel (2013). Bioelectronics for Amperometric Biosensors, State of the Art in Biosensors - General Aspects, Dr. Toonika Rincken (Ed.), ISBN: 978-953-51-1004-0, InTech, DOI: 10.5772/52248. Available from: <http://www.intechopen.com/books/state-of-the-art-in-biosensors-general-aspects/bioelectronics-for-amperometric-biosensors>
- [4] Jordi Colomer-Farrarons, Pere Ll. Miribel-Català, A. Ivón Rodríguez-Villarreal and Josep Samitier (2011). Portable Bio-Devices: Design of electrochemical instruments from miniaturized to implantable devices, New Perspectives in Biosensors Technology and Applications, Prof. Pier Andrea Serra (Ed.), ISBN: 978-953-307448-1, InTech, DOI: 10.5772/17212. Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-biosensors-technology-and-applications/portable-bio-devices-design-of-electrochemical-instruments-from-miniaturized-to-implantable-devices>
- [5] Jaime López Sánchez, Juan Daniel Prades García, Javier Jose Sieiro Córdoba, Pedro Luís Miribel Català. Guió de pràctiques d'Anàlisi de Circuits Electrònics (ACE 2011-12) del grau d'Enginyeria Electrònica de Telecomunicació. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/34144>

Sessió 5. Estudi d'un amplificador de transimpedància

1. INTRODUCCIÓ

Els circuits bàsics que componen el biopotenciostat són el circuit de control de potencial i el circuit de mesura de corrent. Un dels circuits més emprats com a sistema de mesura és l'amplificador de transimpedància: En aquesta sessió s'analitzen, es simulen i es caracteritzen aquests dos circuits.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació científica en llengua anglesa.
- Indicar quines són les configuracions bàsiques del biopotenciostat. • Explicar el funcionament d'aquestes estructures bàsiques i la seva aplicació.
- Realitzar simulacions elèctriques per a validar el funcionament d'aquestes configuracions.
- Comprovar el seu funcionament en una placa de proves

3. MATERIAL NECESSARI

- 2 resistències de $1M\Omega$.
- 1 condensador de $390pF$
- Resistències
- Una font de tensió continua
- Un generador de funcions
- Un multímetre
- Un oscil·loscopi

4. ACTIVITAT PRÈVIA

4.1 Configuració de control de potencial

En la figura 4 de la referència 3 es mostra l'esquema elèctric d'un circuit per a controlar el potencial del terminal RE. Considerant el model de Randles s'ha de realitzar els càlculs analítics del circuit per a indicar la tensió en el terminal CE i en el terminal RE en funció de V_{in} . Considereu que els valors dels components passius del model són $R_{ref}=R_{aux}=1M\Omega$ i $C_{ref}=390pF$

Compareu el circuit de la figura 1 d'aquest document amb el de la figura 4 de la referència 3. Per això identifiqueu quin són els terminals CE, RE i WE i els components passius.

Realitzeu una simulació Spice amb un senyal V_{in} sinusoidal de $10Hz$ i $2V$ d'amplitud i realitzeu una anàlisi transitori (s'han de visualitzar 4 períodes aproximadament) i visualitzeu V_{in} , V_{out} i $V_{out 2}$. Compareu els resultats obtinguts amb els calculats analíticament.

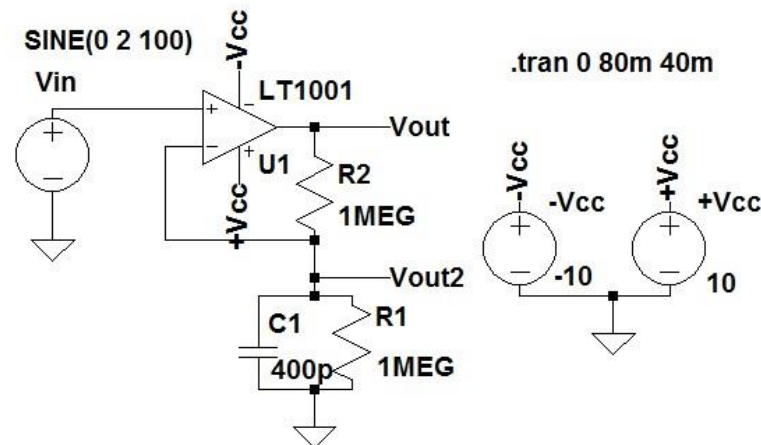


Figura 1: Esquemàtic de la configuració de control de potencial amb el model de Randles.

Augmenteu l'amplitud del senyal V_{in} fins a 5V i repetiu la simulació. Què i per què no funciona correctament?

4.2 Amplificador de transconductància

En la figura 6 de la referència 3 s'incorpora un amplificador de transimpedància al circuit estudiat prèviament. Comenteu com s'obté l'equació 4 de la referència 3. A partir d'aquesta expressió obteniu la relació entre la tensió V_{in} i $V_{out,TR}$.

Realitzeu la simulació Spice de la figura 2 amb un senyal V_{in} sinusoidal de 100Hz i 2V d'amplitud i realitzeu una anàlisi transitori (s'han de visualitzar 4 períodes aproximadament). Visualitzeu la tensió V_{out2} i $V_{out,TR}$. Compareu els resultats obtinguts amb els calculats analíticament. Quin és el guany del sistema?

Amb el valor de la resistència R_{TIA} es pot amplificar el senyal de sortida $V_{out,TR}$. Indiqueu quina resistència es necessita per a aconseguir un senyal de sortida de 5V o de 10V respectivament.

Realitzeu les simulacions per a comprovar el guany mostrant V_{out2} i $V_{out,TR}$ i mesurant amb els cursors. Comenteu que succeeix en cada cas.

El treball realitzat s'ha d'introduir en l'apartat 4.4 de l'informe tècnic. S'ha de comentar el funcionament dels dos circuits estudiats de forma analítica, s'han de mostrar els dos circuits realitzats amb LTSpice i s'han de presentar i comentar les simulacions realitzades fent especial èmfasi en les preguntes proposades.

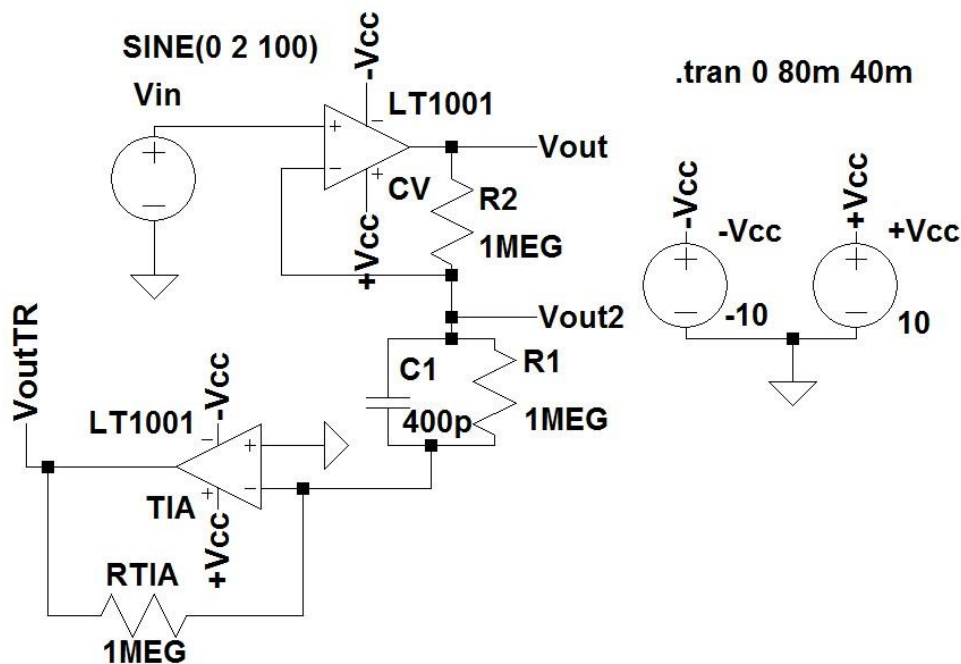


Figura 2: Esquemàtic de la configuració de control de potencial amb el model de Randles i l'amplificador de transimpedància com a element de mesura.

5. TREBALL DE LABORATORI

En aquesta sessió s'utilitzarà la placa de proves utilitzada en la sessió anterior.

Tenint en compte que les resistències utilitzades en aquesta pràctica són de megaohms es necessari treballar amb un amplificador operacional amb una impedància d'entrada com a mínim de $100\text{M}\Omega$. Indiqueu quina es la impedància d'entrada del TL081 i si es pot utilitzar aquest operacional.

5.1 Configuració de control de potencial

Indiqueu els valors dels components passius que utilitzareu, en el cas de resistències mesureu el seu valor en el multímetre. Indiqueu el valor de V_{out2} .

Munteu el circuit de la figura 1 i apliqueu un senyal V_{in} sinusoidal de 100Hz i 2V d'amplitud. Polaritzeu l'amplificador operacional amb $\pm 10\text{V}$.

Visualitzeu amb l'oscil·loscopi els senyals V_{in} i V_{out2} .

Visualitzeu amb l'oscil·loscopi els senyals V_{out} i V_{out2} . Comproveu si el valor del senyal V_{out2} és correcte.

Mostreu al professor aquests senyals.

Comproveu i comenteu que passa si augmenten l'amplitud del senyal V_{in} fins a 5V.

Mostreu al professor aquests senyals.

5.2 Amplificador de transconductància

Tenint en compte que V_{in} i V_{out} són els mateixos valors aplicarem un senyal V_{in} directament al terminal RE d'aquesta forma no necessitarem el primer amplificador operacional per a realitzar l'estudi.

Indiqueu els valors dels components passius que utilitzareu, en el cas de resistències mesureu el seu valor en el multímetre.

Munteu la cel·la de Randles aplicant directament el senyal V_{in} a RE i deixant CE sense connectar. Munteu l'amplificador de transimpedància amb una resistència R_{TIA} d' $1M\Omega$ i apliqueu un senyal V_{in} sinusoidal de 100Hz i 2V d'amplitud. Polaritzeu l'amplificador operacional amb $\pm 10V$.

Visualitzeu amb l'oscil·loscopi els senyals V_{in} i V_{outTR} . Quin és el guany del sistema?

Mostreu al professor aquests senyals.

Canvieu el valor de la resistència R_{TIA} per aconseguir una sortida de 5V i de 10V i torneu a realitzar l'experiment.

Mostreu al professor el senyal obtingut en el cas de 10V de sortida.

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Amplificador de transimpedància (TIA).

A partir del treball realitzat en la sessió 5 es demana introduir en l'apartat 4.4 els dos circuits estudiats (configuració de control de potencial i amplificador de transimpedància):

- Indiqueu els valors dels components passius utilitzats en el laboratori.
- Indiqueu els valors teòrics calculats (V_{out2} en el cas del primer circuit i el guany en el cas del segon circuit).
- Comenteu com s'ha realitzat la part experimental de l'estudi transitori. • Mostreu els senyals obtinguts amb l'oscil·loscopi comentant els resultats.
- Feu un comentari especial en el cas d'augmentar la tensió d'entrada en el primer circuit i en el cas d'augmentar el guany en el segon circuit.

Referencias

- [1] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Colomer-Farrarons, J.; Rodriguez-Villarreal, I.; Miribel-Catala, P.L. Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 2014, doi:10.1109/TBME.2014.2364139.



- [2] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Páez-Avilés, C.; Rodríguez-Villarreal, I.; Juanola-Feliu, E.; ColomerFarrarons, J.; Miribel-Català, P.L. An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device. *Sensors* 2015, *15*, 4564-4577.
- [3] Jaime Punter Villagrasa, Jordi Colomer-Farrarons and Pere Ll. Miribel (2013). Bioelectronics for Amperometric Biosensors, State of the Art in Biosensors - General Aspects, Dr. Toonika Rinke (Ed.), ISBN: 978-953-51-1004-0, InTech, DOI: 10.5772/52248. Available from: <http://www.intechopen.com/books/state-of-the-art-in-biosensors-general-aspects/bioelectronics-foramperometric-biosensors>
- [4] Jordi Colomer-Farrarons, Pere Ll. Miribel-Català, A. Ivón Rodríguez-Villarreal and Josep Samitier (2011). Portable Bio-Devices: Design of electrochemical instruments from miniaturized to implantable devices, New Perspectives in Biosensors Technology and Applications, Prof. Pier Andrea Serra (Ed.), ISBN: 978-953-307448-1, InTech, DOI: 10.5772/17212. Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-biosensors-technology-andapplications/portable-bio-devices-design-of-electrochemical-instruments-from-miniaturized-toimplantable-devices>

Sessió 6. Estudi de les limitacions del biopotenciostat

1. INTRODUCCIÓ

Els circuits basats en els amplificadors operacionals tenen unes limitacions referents a la freqüència del senyal, el valor de la tensió subministrada per l'operacional, el guany del sistema i el valor de les resistències utilitzades entre altres. En aquesta sessió treballarem aquestes limitacions per entendre la seva vital importància a l'hora de dissenyar un sistema electrònic.

En aquesta sessió estudiarem els conceptes de *slew rate* (SR), guany per amplada de banda (GBW) i impedància d'entrada Z_{in} .

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Extreure informació rellevant d'una documentació tècnica.
- Explicar els conceptes d'impedància d'entrada, GBW i *slew rate*.
- Explicar la importància d'aquests conceptes en un biopotenciostat.
- Realitzar simulacions elèctriques per a explicar els conceptes d'impedància d'entrada, GBW i *slew rate*.
- Utilitzar els equips electrònics bàsics per comprovar les limitacions del amplificador de transimpedància a causa de la impedància d'entrada, el GBW i el *slew rate*.
- Anàlisi de síntesis i redacció d'un document tècnic amb el treball realitzat a les sessions 3, 4 i 5.

3. MATERIAL NECESSARI

- Resistències
- Una font de tensió continua
- Un generador de funcions
- Un multímetre
- Un oscil·loscopi

4. ACTIVITAT PRÈVIA

En les simulacions utilitzarem l'amplificador operacional LT1001 de LTSpice. Aquest amplificador té un SR de $0.25\text{V}/\mu\text{s}$, un GBW de 0.18MHz i una Z_{in} de $80\text{M}\Omega$. En totes les simulacions que realitzarem s'ha de posar un temps per aconseguir que surtin uns 4 períodes del senyal aplicat i es mostrarà la tensió d'entrada i la de sortida. Estudiarem les limitacions dels amplificadors operacionals amb la configuració inversora.

4.1 Estudi del Slew Rate

El SR es defineix com la màxima variació de tensió en funció del temps que pot donar l'amplificador operacional.

$$SR = \left| \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{MAX} \quad (1)$$

En el cas d'un senyal sinusoidal

$$V_{out} \approx A \sin(\omega t) \quad (2)$$

Si es deriva (2) i s'agafa el seu valor màxim

$$SR \approx A \omega \approx A 2\pi f_o \quad (3)$$

Aïllant la freqüència, obtenim a la màxima freqüència que pot treballar l'amplificador operacional

$$f_{SR} \approx \frac{SR}{2\pi A} \quad (4)$$

Si es treballa amb un senyal de 5V s'obté que la freqüència màxima de treball és de 8kHz.

Es demana realitzar una simulació (figura 1) on el senyal d'entrada és sinusoidal, d'amplitud 5V i de freqüència 1kHz.

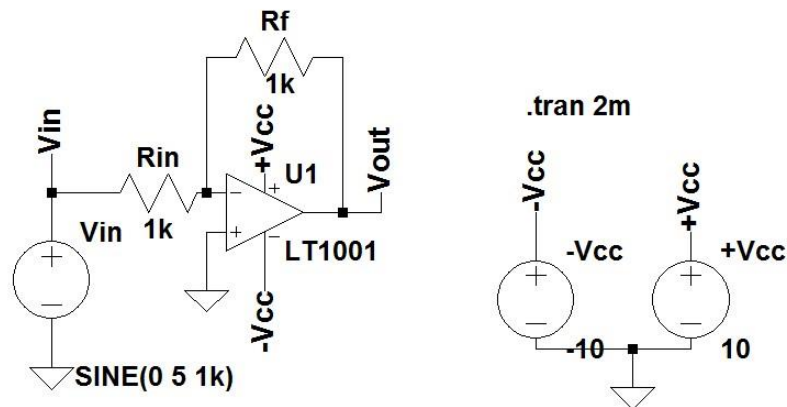


Figura 1: Esquemàtic d'un circuit inversor amb un senyal d'entrada sinusoidal.

Canvieu la freqüència fins a 20kHz i comenteu i compareu els resultats en els dos casos.

Si es baixa la tensió d'entrada fins a 100mV, en aquest cas la freqüència màxima, a causa del SR, és de 400kHz. Realitzeu la mateixa simulació a 100kHz però amb la tensió d'entrada de 100mV.

Mostreu i comenteu el resultat obtinguts.

4.2 Guany per amplada de banda (GBW)

Un altra limitació que té un amplificador operacional es que internament hi ha capacitats paràsites. Es pot considerar que es comporta com a un sistema passa baixos de primer ordre. En aquest cas es compleix que el guany (G) per la freqüència màxima de treball (BW) és contant. En el full d'especificacions es dona el valor de freqüència per guany unitari. Si el sistema té guany, la freqüència disminueix de forma proporcional (ec. 5)

$$f_{GBW} \propto \frac{GBW}{G} \quad (5)$$

En el cas de l'amplificador LT1001 el GBW és de 180kHz. Això vol dir que no es pot treballar per a freqüències superiors a 180kHz quan no hi ha guany.

Realitzeu la simulació de l'apartat anterior per a una freqüència de 400kHz. Aquest valor de freqüència és el màxim a causa del SR però està per sobre del GBW. Mostreu i comenteu el resultat obtingut.

Quan treballaven amb 100kHz no hi havia problemes doncs aquesta freqüència està per sota de f_{SR} i f_{GBW} .

El que farem es amplificar el senyal fins a 5V, això vol dir una amplificació de $G=50$. En el cas de la freqüència màxima degut al SR torna a ser 8kHz doncs no depèn del guany sinó de la tensió de sortida. Però la freqüència màxima degut al GBW si que depèn del guany, si s'aplica l'equació 5 es troba que f_{GBW} es de 3.6kHz. Es a dir, en aquest cas limitarà el GBW.

Realitzeu una simulació on la tensió d'entrada és de 100mV, amb un guany de 50 i amb una freqüència de 8kHz. Per millorar la visualització en el gràfic de LTSpice multipliqueu el senyal d'entrada per 50.

Mostreu i comenteu el resultat de la simulació.

Apliqueu un senyal de 1kHz, mostreu i comenteu el resultat de la simulació. Per millorar la visualització en el gràfic de LTSpice multipliqueu el senyal d'entrada per 50.

4.3 Impedància d'entrada

El tercer factor que s'estudia en aquesta sessió és la impedància d'entrada. En el cas del TL1001 té una Z_{in} de 80M Ω . Això vol dir que com a màxim les resistències que utilitzarem ha de ser més de 10 vegades inferiors.

Realitzeu una simulació sense guany amb resistències de 10M Ω , tensió d'entrada de 100mV i freqüència de 100kHz. Per visualitzar millor el senyal introduïu **en Edit Simulation**

Command el senyal transitori amb les opcions **Stop time** de 1.02m i **Time to start saving data** a 1m.

Mostreu i comenteu la simulació obtinguda.

Amb aquesta simulació s'observa que el sistema no s'està comportant com idealment esperaven. Al ser les resistències de valors similars a la Z_{in} no es pot analitzar el circuit com a un amplificador operacional ideal. Si s'ha de treballar amb resistències tan altes, s'haurà de treballar amb un altre operacional amb una Z_{in} superior.

Per veure millor que el sistema no es comporta de forma ideal, es demana realitzar un diagrama de Bode de la simulació anterior. Si el sistema funcionés correctament el guany (V_{out}/V_{in}) hauria de ser de 0dB en tot moment, però podreu observar que no és així.

Per veure el que hauria de sortir apliqueu un senyal sense guany amb resistències de $10k\Omega$, tensió d'entrada de 100mV i freqüència inicial de 100Hz i una final de 1MHz. Es pot observar que el sistema funciona bé fins als 180kHz aproximadament que és el GBW.

Realitzeu la mateixa simulació però amb resistències de $10M\Omega$.

Mostreu i comenteu els dos diagrames de Bode.

4.4 Diferents operacionals

En la part experimental treballarem amb un operacional similar al LT1001 que és el OP07 i també treballarem amb un de millor com és el TL081. Seria millor utilitzar el OPA380 però comercialment no més hi ha encapsulat SMD. En la placa de proves només es poden utilitzar encapsulat DIP.

Comenteu que vol dir encapsulat DIP i SMD.

Trobeu els valors de SR, GBW i Z_{in} per als tres amplificadors operacionals. Mostreu els resultats en una taula.

Obteniu les freqüències màximes de treball en cada una de les simulacions que heu realitzat dels apartats 4.1 i 4.2. Mostreu els resultats en una taula.

4.5 Informe tècnic

En l'informe tècnic s'hi haurà de mostra el primer esquemàtic i tots els resultats demanats de simulació indicant quins valors s'utilitzen i mostrant i comentant el resultat tal com es demana en cada apartat. Aquesta informació ha de posar-se en l'apartat 4.5 **Estudi de les limitacions del biopotenciostat** de l'informe tècnic.

5. TREBALL DE LABORATORI

Com a treball de laboratori es realitzarà els experiments que prèviament s'han simulat. S'utilitzarà la placa de ràpid prototipatge amb la configuració bàsica, ja que

només s'ha de canviar el guany. La configuració serà la inversora tal i como mostra la figura 1.

5.1 Estudi del Slew Rate

Utilitzeu inicialment l'operacional OP07. A partir d'un guany d'1 i amb resistències d'1kHz apliqueu un senyal d'entrada sinusoidal, d'amplitud 5V i de freqüència 1kHz. Quina és la freqüència màxima de treball a causa del SR?

- a. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

Augmenteu la freqüència del senyal fins a 20kHz.

- b. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

Canvieu l'operacional pel TL081. Quina és la freqüència màxima de treball degut al SR?

- c. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

Torneu a posar el OP07 i disminuïu l'amplitud a 100mV. Quina és la freqüència màxima de treball a causa del SR teòric?

Augmenteu la freqüència del senyal fins al seu valor màxim sense que hi hagi distorsió degut al SR. Quant val aquesta freqüència?

- d. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

5.2 Guany per amplada de banda (GBW)

A partir de la configuració anterior amb un senyal d'entrada de 50mV i amb un guany de 100, quines són les freqüències màximes de treball per al OP07 degut al SR i la GBW?

Augmenteu la freqüència del senyal fins al seu valor màxim sense que hi hagi distorsió. Quant val aquesta freqüència i a què és degut aquesta distorsió?

- e. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

Utilitzeu el TL081. Amb les mateixes condicions i utilitzant el TL081, quines són les freqüències màximes de treball per al OP07 a causa del SR i del GBW?

Augmenteu la freqüència del senyal fins al seu valor màxim sense que hi hagi distorsió. Quant val aquesta freqüència i a què és degut aquesta distorsió?

- f. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

5.3 Impedància d'entrada

Per visualitzar l'efecte de la impedància d'entrada utilitzarem els valors més òptims (senyal de 100mV d'amplitud amb guany 1) però utilitzarem resistències de 10M Ω .

Utilitzeu primer l'OP07 i modifiqueu la freqüència per comprovar si es comporta correctament.

g. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

Repetiu aquest experiment amb el TL081.

h. Visualitzeu i mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida.

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Estudi de les limitacions del biopotenciostat

A partir del treball realitzat en la sessió 6 es demana introduir en l'apartat 4.5 les tres limitacions que s'han estudiat (SR, GBW, Zin). S'ha de realitzar tres subapartats (SR, GBW, Zin) i en cada subapartat primer estaran les simulacions i després la part experimental. En la part experimental:

- Indiqueu els valors dels components passius utilitzats en el laboratori.
- Indiqueu els valors teòrics que es demanen de freqüència màxima de treball.
- Comenteu com s'ha realitzat la part experimental de l'estudi transitori.
- Mostreu els senyals obtinguts amb l'oscil·loscopi comentant els resultats.
- Feu un comentari especial en el cas de què el sistema no funcioni idealment.

Sessió 7. Eliminació de soroll en els sistemes de mesura

1. INTRODUCCIÓ

S'anomena filtre actiu, a aquell circuit electrònic que permet seleccionar senyals, filtrar, però que en la seva estructura s'incorpora un element actiu, és a dir amb guany, com ara un amplificador operacional. Aquestes estructures es poden combinar per obtenir filtres passa-baixos, passa-alts, elimina banda, etc...

L'ús d'elements actius, com els amplificadors operacionals, permet millorar les característiques dels filtres i evitar l'ús de gran quantitat de components passius, com resistències i bobines, fent el disseny més fiable. A més a més, l'ús d'amplificadors operacionals permet generar freqüències de tall molt precises a la vegada que factors de qualitat (Q) molt elevats. Això és possible ja que els filtres actius poden estar formats per diferents pols i zeros. Com a contrapartida, les limitacions en freqüència dels amplificadors operacionals (amplada de banda limitat per freqüències grans, a l'igual que el guany) provoquen que per altres freqüències els filtres actius perdin les seves funcionalitats i el filtre es deixi de comportar com a tal.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Explicar el funcionament bàsic de la configuració passa-baix del "Sallen-Key".
- Realitzar els càlculs teòrics per obtenir el guany del filtre actiu.
- Realitzar els càlculs teòrics per obtenir els pols del filtre actiu.
- Realitzar una simulació per validar el funcionament indicant el guany del sistema.
- Realitzar una simulació per explicar i validar la posició dels pols del filtre
- Realitzar una simulació per explicar la limitació en freqüència del filtre actiu a causa de l'ús d'un amplificador operacional amb una limitació freqüencial.
- Identificar els components que formen el filtre en un PCB ja dissenyada • Validar experimentalment el seu funcionament indicant el guany del sistema.
- Comprovar experimentalment i explicar quina és la freqüència de tall i la degradació que es produeix.

3. MATERIAL NECESSARI

- Software LTspice: escollim la versió IV de Linear Technologies.
- Un PC amb Windows XP o superior.
- Un generador de funcions.
- Un oscil·loscopi.
- Una font d'alimentació amb dues sortides. • Una PCB amb el filtre implementat
- Cables i connectors.
- Un amplificador operacional LT1793.
- Un alimentador de tensió DC per la PCB.

4. ACTIVITAT PRÈVIA

El circuit electrònic “Sallen-Key” és una de les estructures de filtres actius més utilitzades per la seva senzillesa i fiabilitat. Amb ell es poden dissenyar tant filtres passa-baixos com passa-alts només realitzant petites modificacions en la seva estructura.

En aquesta pràctica estudiarem el comportament d'un filtre de segon ordre “Sallen-Key” passa-baixos amb guany unitari. Això vol dir que el filtre actiu imposa dos pols a la freqüència de tall que vulguem dissenyar, tot generant una degradació del senyal de -40dB/dècada a partir d'aquesta. L'estructura del filtre que utilitzarem es mostra en Figura 1, on es poden veure els 4 elements passius que formen el filtre, R_1 , R_2 , C_1 i C_2 , i l'element actiu, en aquest cas un amplificador operacional.

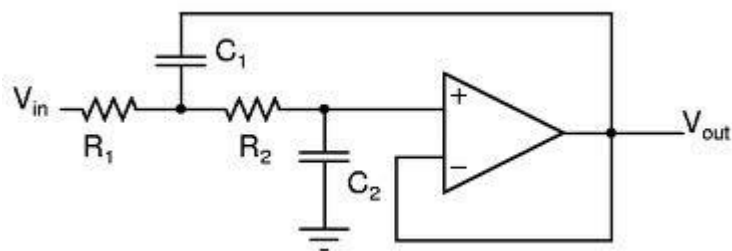


Figura 1. Esquemàtic del filtre passa-baixos “Sallen-Key”.

4.1 Càlcul teòric

A partir de la figura 1 calculeu la funció de transferència $H(s) = V_{out}(s) / V_{in}(s)$ en funció dels components passius R_1 , R_2 , C_1 i C_2 (considereu que $R_1=R_2$) i comproveu que la funció de transferència $H(s)$ es comporta com:

$$H(s) = \frac{\overbrace{\omega_0^2}^{(2\pi f_0)^2}}{s^2 + \underbrace{2\pi \frac{f_0}{Q}}_{\frac{\omega_0}{Q} = 2\zeta\omega_0} s + \underbrace{(2\pi f_0)^2}_{\omega_0^2}}$$

Indiqueu quant val el guany en DC (H_0), la freqüència de pol (f_0) i el factor de qualitat (Q) en funció dels components passius R , C_1 i C_2 .

El factor de qualitat és molt important doncs defineix el comportament del filtre. L'aproximació més utilitzada és la de Butterworth, on $Q=0,707$. Amb aquesta aproximació la banda passant és totalment plana i la freqüència del pol correspon a la freqüència de tall. Per $Q>0,707$ el diagrama de Bode presenta un sobrepic prop de la freqüència de tall que pot distorsionar el senyal.

A. A partir de $C_1=200\text{nF}$, obteniu els valors de R i C_2 per aconseguir un filtre de Butterworth amb una freqüència f_0 de 1kHz.

- B. Utilitzant els següents valors $R = 1\text{k}\Omega$, $C_1 = 470\text{nF}$ i $C_2 = 10\text{nF}$ trobeu els valors de la freqüència f_0 i el factor de qualitat.

En el cas de què les dues resistències no siguin iguals la funció de transferència és una mica més complexa. Es pot demostrar de forma anàloga que:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_1 C_2}{R_2 C_1}} + \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}}}$$

- C. Utilitzant els següents valors $R_1 = 30\text{k}\Omega$, $R_2 = 18\text{k}\Omega$, $C_1 = 470\text{nF}$ i $C_2 = 10\text{nF}$ trobeu els valors de la freqüència f_0 i el factor de qualitat.

4.2 Simulació Spice

Realitzeu l'esquemàtic del filtre passa baixos "Sallen-Key" introduint una tensió d'alimentació de $\pm 5\text{V}$ en els dos casos A, B i C. Utilitzeu el model no ideal de l'amplificador LT1793.

Presenteu el diagrama de Bode i obteniu amb els cursos la freqüència de tall de cada sistema. En el cas de què hi hagi un sobrepic indiqueu per a quin freqüència es dona i quin seria l'amplificació en (V/V).

4.3 Informe tècnic

En l'informe tècnic s'hi haurà de mostrar l'esquemàtic del circuit, els càlculs teòrics i les simulacions realitzades, indicant quins valors s'utilitzen i mostrant i comentant el resultat tal com es demana en cada apartat. Aquesta informació ha de posar-se en l'apartat 4.6 **Eliminació de soroll elèctric en els sistemes** de l'informe tècnic.

5. TREBALL DE LABORATORI

Utilitzant la PCB de pràctiques localitzeu el filtre actiu dins la placa de circuit imprès i estudeu el seu comportament. Utilitzeu el generador de funcions per introduir un senyal d'entrada sinodal d' 5V pic a pic i feu un escanament de 0.2 Hz fins a 200 Hz per estudiar el circuit. Observeu amb l'oscil·loscopi els senyals d'entrada i de sortida.

Questions:

Exp a). Amb l'alimentador DC connectat a la PCB trobeu les tensions d'alimentació de l'amplificador LT1794

Exp b). Indiqueu els valors experimentals de les resistències que formen el filtre

Exp c). Amb els valors de resistències anteriorment trobats i sabent que $C_1 = 1\mu\text{F}$ i $C_2 = 470\text{nF}$ trobeu el valor teòric de la freqüència de tall del filtre



Exp d). Realitzeu una taula mostrant la tensió d'entrada, la tensió de sortida i la freqüència (Ajudeu-vos amb l'oscil·loscopi)

Exp e). Representeu gràficament els senyals visualitzats en l'oscil·loscopi per diferents freqüències de tal forma que us permetin veure l'efecte del filtre passa-baixos

Exp f). Realitzeu el diagrama de Bode amb la taula extreta en l'apartat c) i trobeu la freqüència de tall i la seva caiguda.

Exp g). Els valors experimentals es corresponen amb els calculats prèviament?

Mostreu al professor els senyals d'entrada i sortida per a la freqüència de tall.

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Eliminació de soroll elèctric en els sistemes

A partir del treball realitzat en la sessió 7 es demana introduir en l'apartat 4.6.

Sessió 8. Estudi funcional d'un biopotenciostat

1. INTRODUCCIÓ

Un biosensor és un sistema d'instrumentació per a la detecció d'un analit que combina un component biològic amb un detector fisicoquímic. La majoria dels sensors químics són biosensors electroquímics. Tots ells es basen en la fixació d'algunes variables de la cel·la electroquímica i comprovar com les altres variables canvien amb les fluctuacions de les variables controlades. L'amplificador potenciòstat és el principal circuit d'instrumentació utilitzat per a caracteritzar un biosensor electroquímic.

2. OBJECTIUS

Un cop finalitzada la pràctica l'estudiant serà capaç de:

- Explicar el funcionament d'un amplificador de transimpedància i d'un d'instrumentació.
- Realitzar els càlculs teòrics d'aquest dos sistemes amplificadors.
- Utilitzar el guany més adient depenent de la cel·la a estudi.
- Realitzar una simulació per validar el funcionament d'aquest dos sistemes amplificadors.
- Identificar els components que formen un amplificador de transimpedància i d'un d'instrumentació.
- Validar experimentalment el funcionament d'aquest dos sistemes amplificadors.
- Aplicar diferents tècniques d'eliminació de soroll en sistemes de mesura de senyals bioelèctriques.

3. MATERIAL NECESSARI

- Software LTspice: escollim la versió IV de Linear Technologies.
- Un PC amb Windows XP o superior.
- Un generador de funcions.
- Un oscil·loscopi.
- Una font d'alimentació amb dos sortides.
- Una PCB amb els amplificadors de transimpedància i d'instrumentació implementats
- Cables i connectors.
- Un alimentador de tensió DC per la PCB.
- Resistències de valors $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$, $1M\Omega$ i $10M\Omega$.

4. ACTIVITAT PRÈVIA

Els circuits de mesura utilitzats són principalment l'amplificador d'instrumentació [1] i l'amplificador de transimpedància [2]. En tota la pràctica s'utilitzaran només resistències dels valors $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$, $1M\Omega$ i $10M\Omega$.

4.a. Amplificador de transimpedància

A partir de la lectura de l'amplificador de transimpedància responeu a les següents preguntes.

Questions:

- Teor. a) Indica una possible aplicació biomèdica d'un potenciòstat.
- Teor. b) Comenteu què són els terminals WE, CE i RE.

Realitzeu un estudi analític del circuit de la figura 1 i responeu a les següents preguntes.

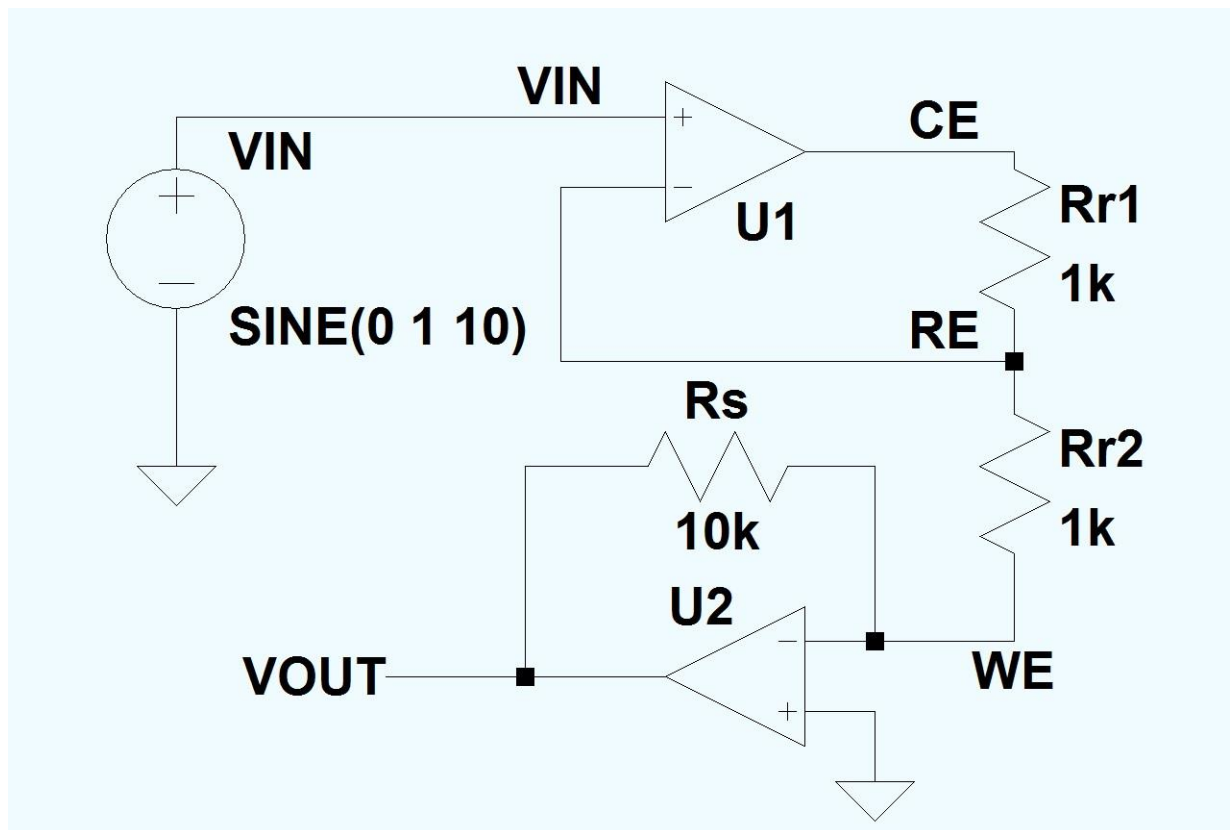


Figura 1: Esquemàtic d'un potenciòstat basat en una configuració d'amplificador de transconductància

- Teor. c) Quina relació hi ha entre la tensió d'entrada V_{in} i la tensió de sortida V_{out} ?
- Teor. d) En el cas de que les dos resistències de Randless (R_r) tinguin el mateix valor i la resistència de mesura (R_s) sigui deu vegades superior, quina tensió hi ha a la sortida de l'amplificador operacional U_1 ? Indiqueu quina tensió màxima pot tenir V_{in} degut a la limitació en la tensió de saturació de U_1 .
- Teor. e) Per a eliminar el soroll es pot introduir un condensador en paral·lel a la resistència R_s . Demostreu teòricament que la funció de transferència amb el condensador és d'un filtre passa-baixos amb guany (considereu que el sistema és un amplificador en configuració inversora amb les resistències R_r2 i R_s).
- Teor. f) Indiqueu l'expressió matemàtica del guany a freqüències baixes i de la freqüència de tall.
- Teor. g) Si es vol que la freqüència de tall sigui de 50Hz quin és el valor de C per a les possibles resistències R_s (10k Ω , 100k Ω , 1M Ω i 10M Ω).

Ompliu la part teòrica de la taula que teniu en la part experimental.

Realitzeu l'esquemàtic del circuit de la figura 1, apliqueu un senyal de 500mVpp a freqüència d'1Hz i introduint una tensió d'alimentació de $\pm 15V$. Utilitzeu el model no ideal de l'amplificador LT1793. Per a modelitzar la cel·la introduïu dos resistències iguals de $1k\Omega$.

Qüestions:

Teor. h) Presenteu l'esquemàtic del sistema.

Teor. i) Quina resistència R_s ($10k\Omega$, $100k\Omega$, $1M\Omega$ i $10M\Omega$) es pot utilitzar per obtenir màxim guany sense que hi hagi saturació en tensió.

Teor. j) Presenteu les gràfiques del senyal d'entrada i els de sortida dels dos amplificadors operacionals en l'espai temporal per aquest valor de R_s . Teor. k) Compareu aquest resultats amb el predits teòricament.

4.b. Amplificador d'instrumentació

A partir de la lectura de l'amplificador d'instrumentació responeu a les següents preguntes.

Questions:

Teor. l) Comenteu què és un FRA.

Teor. m) Per a mesurar la impedància biològica, quina llei s'aplica?

Realitzeu un estudi analític del circuit de la figura 2 i responeu a les següents preguntes.

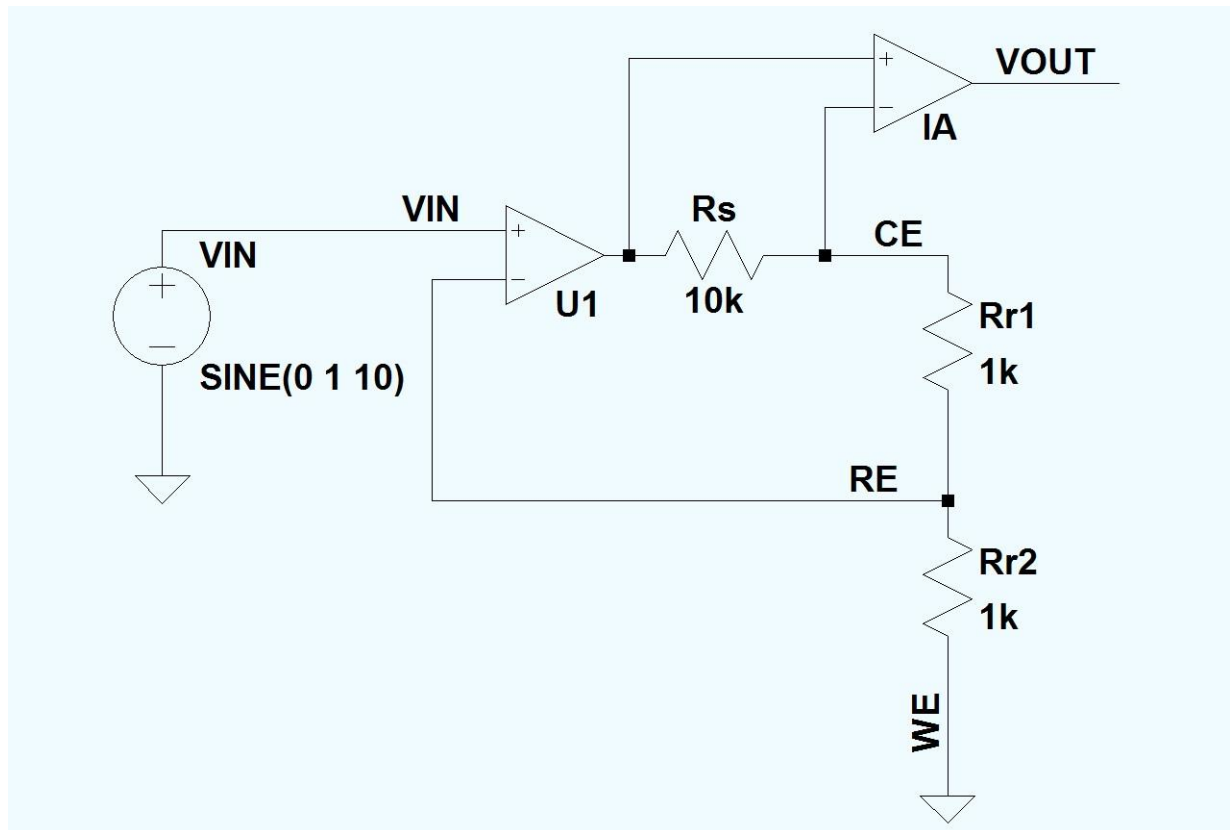


Figura 2: Esquemàtic d'un potenciòstat basat en una configuració d'amplificador d'instrumentació.

- Teor. n) Quina relació hi ha entre la tensió d'entrada V_{in} i la tensió de sortida V_{out} de l'amplificador d'instrumentació (IA) quan el seu guany és 1?
- Teor. o) En el cas de que les dos resistències R_r tinguin el mateix valor i la R_s sigui deu vegades superior, quina tensió hi ha a la sortida de l'amplificador operacional U1? Indiqueu quina tensió màxima pot tenir V_{in} degut a la limitació en la tensió de saturació de U1.
- Teor. p) A quina conclusió arribeu si compareu el resultat anterior amb el trobat en l'apartat d)? Quina configuració considereu més addient i per què?

Ompliu la part teòrica de la taula que teniu en la part experimental.

Realitzeu l'esquemàtic del circuit de la figura 2, apliqueu un senyal de 1Vpp a freqüència d'1Hz i introduint una tensió d'alimentació de $\pm 15V$. Utilitzeu el model no ideal de l'amplificador LT1793. Per a modelitzar la cel·la introduïu dos resistències iguals de $1k\Omega$. Per introduir l'amplificador d'instrumentació utilitzeu el LM1167 on s'ha d'introduir un guany unitari (veure full d'especificacions).

Questions:

Teor. q) Presenteu l'esquemàtic del sistema.

Teor. r) Quina resistència R_s (10k Ω , 100k Ω , 1M Ω i 10M Ω) es pot utilitzar per obtenir màxim guany sense que hi hagi saturació en tensió.

Teor. s) Presenteu les gràfiques del senyal d'entrada i els de sortida dels dos amplificadors operacionals en l'espai temporal per aquest valor de R_s . Teor. t) Compareu aquest resultats amb el predits teòricament.

4.3 Informe tècnic

En l'informe tècnic s'hi haurà de mostra l'esquemàtic del circuit, els càlculs teòrics i les simulacions realitzades, indicant quins valors s'utilitzen i mostrant i comentant el resultat tal com es demana en cada apartat. Aquesta informació ha de posar-se en l'apartat 4.7 (Funcionament d'un biopotenciostat) de l'informe tècnic.

5. TREBALL DE LABORATORI

En la figura 1 es mostra la placa PCB que s'utilitzarà en aquesta pràctica. INPUT és la entrada del senyal extern. IN1 i IN2 són les sortides de l'amplificador de transimpedància i del amplificador d'instrumentació respectivament. OUT1 i OUT2 són les sortides dels dos sistemes després de passar pel filtre passa-baixos de segon ordre estudiat en la pràctica 6. Els senyals IN i OUT es poden visualitzar en el pin mig del connector de tres pins. J1 i J2 han d'estar a ON per a garantir que el senyal de sortida del potenciòstat arriba al filtre. Per a seleccionar una resistència R_S concreta s'ha de posar el connector a ON corresponent. El guany de l'amplificador operacional serà d'un per aquest motiu els connectors G estaran a OFF.

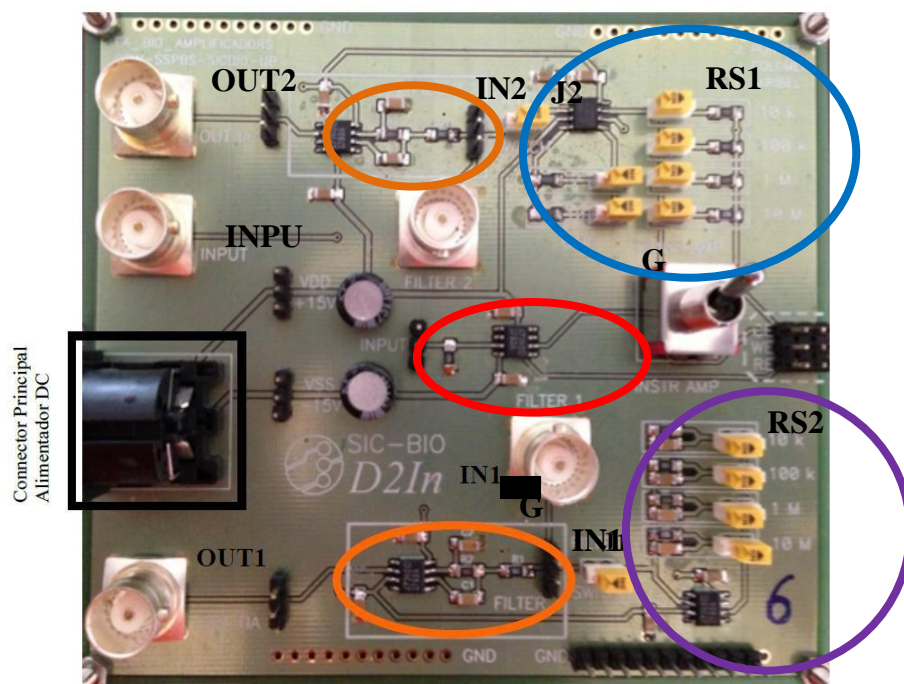


Figura 1. Placa PCB de potenciòstat per aplicacions biomèdiques

Al mig de la placa (color vermell) està el primer amplificador U1 utilitzat en els dos potenciòstats; En la part dreta de dalt (color blau) està l'amplificador d'instrumentació IA; En la part dreta de baix (color lila) està l'amplificador de transimpedància U2. En la part alta i baixa de la placa al mig (color taronja) tenim els filtres passa baixos de cada potenciòstat.

6.a. Amplificador de transimpedància

Utilitzant la PCB de pràctiques (figura 1) localitzeu les entrades i sortides de l'amplificador de transimpedància. Connecteu les dues resistències que modelitzen la cel·la amb un valor de $1\text{k}\Omega$ i apliqueu el senyal utilitzat a les simulacions.

Qüestions:

Exp a). Mostreu al professor el sistema funcionant

Exp b). Ompliu la següent taula

	Teòric	Simulació	Experimental
Vre (V)			
Vce (V)			
Vout (V)			

Per a validar el funcionament per altres tipus de cel·les canviarem el valor de les resistències R_r . Seleccioneu la resistència R_s adient per a aconseguir la major amplificació sense saturar la sortida ($10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $1\text{M}\Omega$ i $10\text{M}\Omega$). El corrent experimental es mesura indirectament amb la mesura de la caiguda de tensió.

Exp c). Ompliu la següent taula per al màxim guany (El corrent és mesura indirectament a partir del valor de V_{out} i R_s)

R_r	R_s	Teòric		Experimental		Variació ΔI (%)
		Vout	I	Vout	I	
$1\text{k}\Omega$						
$10\text{k}\Omega$						
$100\text{k}\Omega$						
$1\text{M}\Omega$						
$10\text{M}\Omega$						

En el cas d'observar-se un cert valor de soroll apliqueu el filtre passa baixos i visualitzeu la seva sortida

Exp d). En quin cas ha estat necessari utilitzar un filtre passa baixos? Per què?

6.b. Amplificador d'instrumentació

Utilitzant la PCB de pràctiques localitzeu les entrades i sortides de l'amplificador d'instrumentació. Connecteu les dues resistències que modelitzen la cel·la amb un valor de 1kΩ i apliqueu el senyal utilitzat a les simulacions.

El sistema presenta soroll sobretot de 50Hz, apliqueu el filtre utilitzat en la pràctica anterior per a reduir el soroll

Qüestions:

Exp e). Mostreu al professor el sistema funcionant sense i amb filtre

Exp f). Ompliu la següent taula

	Teòric	Simulació	Experimental
Vre (V)			
Vce (V)			
Vout (V)			
VoutU1 (V)			

Per a validar el funcionament per altres tipus de cel·les canviarem el valor de les resistències Rr. Seleccioneu la resistència Rs adient per a aconseguir la major amplifcació sense saturar la sortida (10kΩ, 100kΩ, 1MΩ i 10MΩ). El corrent experimental es mesura indirectament amb la mesura de la caiguda de tensió.

Qüestions:

Exp g). Ompliu la següent taula per al màxim guany.

Rr	Rs	Teòric		Experimental		Variació
		I	Vout	I	Vout	ΔI (%)
1kΩ						
10kΩ						
100kΩ						
1MΩ						
10MΩ						

Qüestions:

Exp h). Mostreu al professor el senyal per a 10MΩ .

Exp i). En el pitjor cas indiqueu la relació senyal soroll abans d'utilitzar el filtre

$$SNR(dB) \approx 20 \log \frac{A_{senyal}}{A_{Soroll}}$$

Exp j). Perquè en l'amplificador de transimpedància no s'ha tingut que aplicar un filtre addicional?

6. INFORME DEL TREBALL REALITZAT

6.1 Estudi funcional d'un biopotenciostat

A partir del treball realitzat en la sessió 8 es demana introduir en l'apartat 4.7 la informació demanda de les qüestions de l'apartat TREBALL DE LABORATORI en dos apartats Amplificador de transimpedància i Amplificador d'instrumentació, en cada apartat a d'haver prèviament l'informe del treball previ.

- Comentari de la placa utilitzada comentant a que correspon cada bloc.
- Senyals amb l'oscil·loscopi amb senyal d'entrada i sortida per un cas que funcioni correctament i per un altre amb soroll. Comenteu.
- Ompliu les taules i comenteu-les.
- Calculeu el SNR.
- Indiqueu perquè el senyal del IA és més sorollós.

Referencias

- [1] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Colomer-Farrarons, J.; Rodriguez-Villarreal, I.; Miribel-Catala, P.L. Towards an Anaemia Early Detection Device Based on 50 μ L Whole Blood Sample. *IEEE Trans Biomed. Eng.* 2014, doi:10.1109/TBME.2014.2364139.
- [2] Punter-Villagrasa, J.; Cid, J.; Páez-Avilés, C.; Rodríguez-Villarreal, I.; Juanola-Feliu, E.; ColomerFarrarons, J.; Miribel-Català, P.L. An Instantaneous Low-Cost Point-of-Care Anemia Detection Device. *Sensors* 2015, *15*, 4564-4577.