

# Problemes de síntesi de Teoria de Circuits

Orestes Mas  
Joan Maria Miró  
Francesc Xavier Moncunill  
Margarita Sanz

Tardor de 2008

# Índex

1	Introducció	2
2	Amplificador operacional	4
3	Anàlisi de circuits dinàmics	7
4	Règim Permanent Sinusoïdal (RPS)	8
5	Resposta freqüencial	13
6	Representació freqüencial dels senyals	21
7	Resposta temporal	24

## Tema 1

# Introducció

### Objectius:

- Saber analitzar i dissenyar circuits senzills que incorporin potenciómetres.
- Aprendre a validar resultats obtinguts de l'anàlisi simbòlic.

**Problema 1.1** (20 min.) El circuit de la **figura 1.1** correspon al model d'un òhmetre on s'utilitza un instrument anomenat "galvanòmetre de d'Arsonval" per realitzar les mesures. Suposant que el corrent que circula pel galvanòmetre a fons d'escala es de  $50\ \mu\text{A}$  i que la tensió als seus terminals és menyspreable, es demana:

- Tenint en compte que  $R_1 = 23\ \text{k}\Omega$  i  $R_2 = 11\ \text{k}\Omega$ , calculeu el valor al que cal ajustar  $R$  per tal que, al curtcircuitar els terminals de prova a-b, la deflexió del galvanòmetre sigui màxima (fons d'escala).
- Quin valor nominal del potenciómetre escolliríeu? Dibuixeu l'esquema complet de l'òhmetre detallant les connexions dels terminals del potenciómetre.
- Quin és el valor de la resistència de prova  $R_x$  que fa que el galvanòmetre es desvii fins a mitja escala?

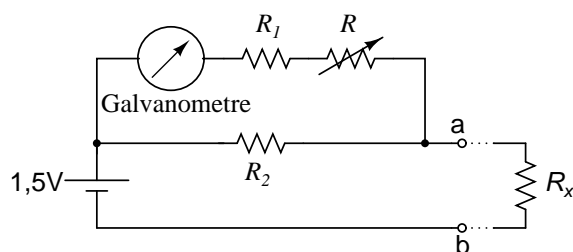


Fig. 1.1

**Problema 1.2** (10 min.) Sabent que es disposa de piles de 9V i de potenciómetres i resistències de valors estandarditzats, dissenyeu un circuit que ens permeti ajustar una tensió entre -2V i 2V. Dibuixeu l'esquema circuital del disseny obtingut especificant els valors de tots els seus paràmetres.

**Problema 1.3 (20 min.)** Indiqueu quines condicions han de verificar els valors dels elements per tal que el circuit de la **figura 1.2** es comporti com a sumador de tensions, és a dir, que la seva tensió de sortida sigui proporcional a la suma de les dues tensions d'entrada  $v_o = k \cdot (v_1 + v_2)$ . Detalleu també l'expressió de la constant  $k$  en funció dels paràmetres del circuit i indiqueu la funció que realitza  $R_L$  en el circuit.

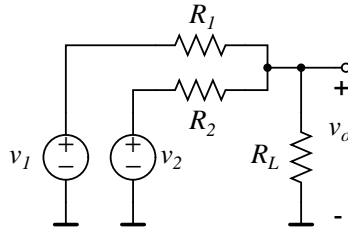


Fig. 1.2: Proposta de sumador de tensions resistiu

## Tema 2

# Amplificador operacional

### Objectius:

- Aprendre a analitzar i dissenyar circuits amb amplificadors operacionals.

**Problema 2.1 (15 min.)** En el circuit de la **figura 2.1**, demostreu que el corrent  $i_o(t)$  no depèn de  $R_L$ , i que per tant des del punt de vista de  $R_L$  el circuit es comporta com una font de corrent controlada per tensió i calculeu el valor de la transconductància “ $g$ ”.

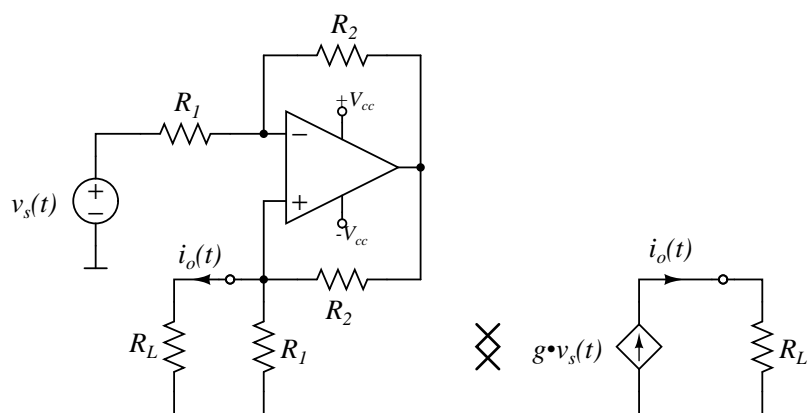


Fig. 2.1: Font de corrent basada en AO

**Problema 2.2 (30 min.)** Es vol dissenyar un indicador de nivell de combustible per a automòbils. Per això es disposa d'un sensor de nivell, el model del qual es proporciona a la **figura 2.2**. També es disposa d'un galvanòmetre amb una escala convenientment graduada, on el desplaçament de l'agulla és proporcional al corrent  $i_G$  aplicat. El desplaçament màxim o fons de escala s'obté quan  $i_G = 50 \mu\text{A}$ . A més, el galvanòmetre es configura com un voltímetre fent que la seva resistència d'entrada sigui de  $40 \text{ k}\Omega$ . Finalment es disposa d'un LED groc. Es demana:

- Trobeu la relació  $v_G = f(v_s)$  i representeu-la gràficament.
- Utilitzant amplificadors operacionals alimentats simètricament a  $\pm 6 \text{ V}$ , dissenyeu un circuit que permeti visualitzar el nivell de combustible a través del galvanòmetre.

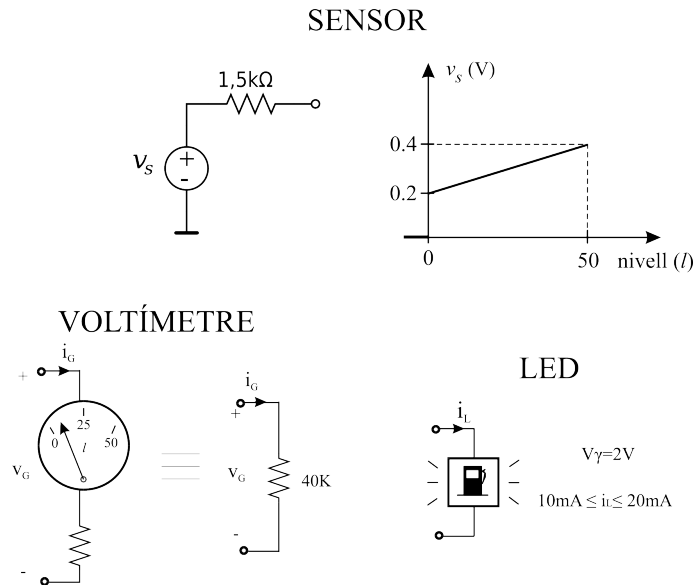


Fig. 2.2: Components de l'indicador de nivell

- c) Incorporeu al disseny anterior un segon circuit que il·lumini el LED quan el nivell quedi per sota de 5 litres.
- d) Dibuixeu l'esquema complet del disseny realitzat.

**Problema 2.3 (30 min.)** Un aparell està dissenyat per donar a la seva sortida una tensió proporcional a la temperatura ambient, mesurada en graus Celsius. Aquesta tensió,  $V_C$ , es mesura amb un voltímetre digital, obtenint-se les lectures consignades a la **taula 2.1**. Notar que la lectura del voltímetre és (si exceptuem el punt decimal) directament la temperatura en Celsius  $T_C$ . En altres paraules,  $V_C = T_C/10$ .

Temperatura (°C)	Tensió de sortida (Volt)
-20	-2,0
0	0,0
25	2,5
44	4,4
100	10,0

Taula 2.1: Relació entre temperatura ambient i tensió de sortida

Com és sabut, l'escala **Celsius** no és l'única que s'utilitza per mesurar temperatura. En els països anglosaxons és encara de força ús l'escala **Fahrenheit**, creada el 1724 pel físic alemany **Gabriel Fahrenheit**. La diferència fonamental entre les dues escales (a banda del nombre de divisions) és que l'escala Celsius pren el zero a la temperatura de fusió de l'aigua pura, mentre que la Fahrenheit pren el zero a la temperatura de fusió de l'aigua saturada de sal<sup>1</sup>. La relació entre ambdues escales la podeu observar a la **figura 2.3**, o bé podeu emprar l'equació:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

on  $T_F$  és la temperatura en Fahrenheit i  $T_C$  la temperatura en Celsius.  
Es demana:

<sup>1</sup>Per més informació consulteu la pàgina Web: <http://vathena.arc.nasa.gov/curric/weather/fahrccels.html>

- Proposeu detalladament un circuit que, connectat a la sortida de l'aparell, obtingui una tensió  $V_F$  proporcional a la temperatura en Fahrenheit, de tal manera que la lectura del voltímetre sigui directament l'esmentada temperatura (també exceptuant el punt decimal). Concretament, es demana que  $V_F = T_F/10$ .
- Comproveu que el circuit proposat funciona obtenint la seva sortida a les temperatures indicades a la **figura 2.3**. Què passarà quan la temperatura a mesurar sigui de  $100^\circ\text{C}$ ?

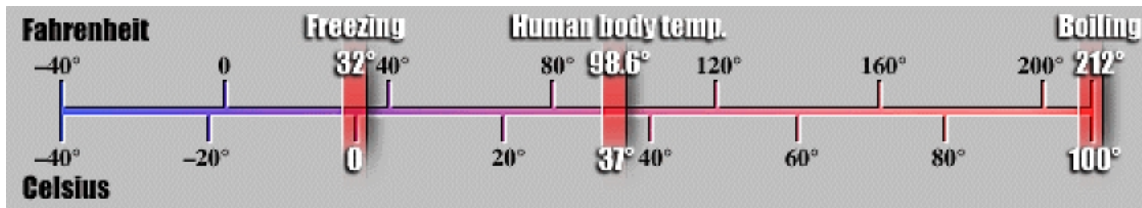


Fig. 2.3: Relació entre temperatura ambient i tensió de sortida

**Problema 2.4 (30 min.)** Donat el circuit de la **figura 2.4**, es demana:

- Calculeu l'amplificació del circuit quan el cursor es troba a la meitat del seu recorregut.
- Determineu la relació existent entre la tensió de sortida,  $v_o(t)$ , i la tensió d'entrada,  $v_i(t)$ , en funció dels paràmetres del circuit.
- Per a validar l'expressió obtinguda a l'**apartat b)**, particularitzeu-la per a  $\alpha=0,5$  i comproveu la seva coherència amb el resultat obtingut a l'**apartat a)**.
- Trobeu l'amplificació del circuit en primer lloc quan el cursor del potenciòmetre està desplaçat cap a un extrem ( $\alpha=0$ ) i després cap a l'altre ( $\alpha=1$ ).
- Suposant ara  $R_1=1\text{k}\Omega$ ,  $R_p=10\text{k}\Omega$  i  $R_2=470\text{k}\Omega$ , simuleu el circuit amb GnuCap obtenint la resposta per a un mínim de 5 posicions del cursor<sup>1</sup>. Adjunteu els resultats de la simulació.
- A partir de la simulació realitzada a l'**apartat e)** corroboreu els resultats de tots els apartats anteriors.

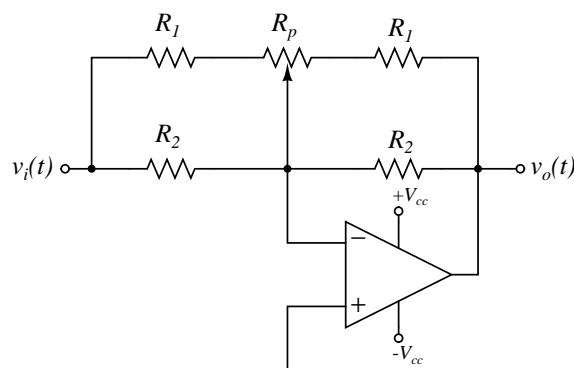


Fig. 2.4

<sup>1</sup>Per a simular l'AO podeu substituir-lo pel seu model en zona lineal amb  $A_o = 10^5$

## Tema 3

# Anàlisi de circuits dinàmics

### Objectius:

- Saber analitzar circuits amb elements dinàmics en el domini transformat de Laplace.

**Problema 3.1** (20 min.) Donat el circuit de la **figura 3.1**, es demana:

- Calculeu la funció de xarxa  $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_g(s)}$  en funció dels paràmetres del circuit.
- Amb  $R_1 = 4k\Omega$ ,  $R_2 = 10k\Omega$  i  $C = 100nF$ , determineu la resposta del circuit a una excitació  $v_g(t) = 5 \cdot \cos(100t) \cdot u(t)$ .
- A la resposta obtinguda a l'apartat anterior, identifiqueu els termes de la resposta lliure i forçada. Com seria la resposta en règim permanent?

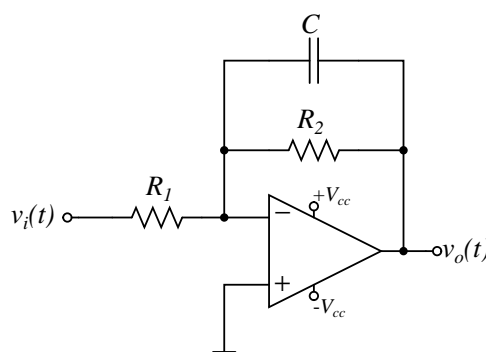


Fig. 3.1



## Tema 4

# Règim Permanent Sinusoidal (RPS)

### Objectius:

- Aprendre a analitzar i dissenyar circuits en RPS.
- Saber determinar la potència disponible d'un generador i la dissipada per una càrrega
- Saber dissenyar xarxes adaptadores

**Problema 4.1** (30 min.) El circuit de la **figura 4.1** conté dues excitacions independents,  $v_g(t)$  i  $i_g(t)$ . Determineu la tensió al condensador,  $v_o(t)$ , en els següents casos:

- $i_g(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(10^6 t)$  i  $v_g(t) = \cos(10^6 t)$
- $i_g(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(5 \cdot 10^5 t)$  i  $v_g(t) = \cos(2 \cdot 10^6 t)$

Verifiqueu els resultats simulant el circuit amb GnuCap .

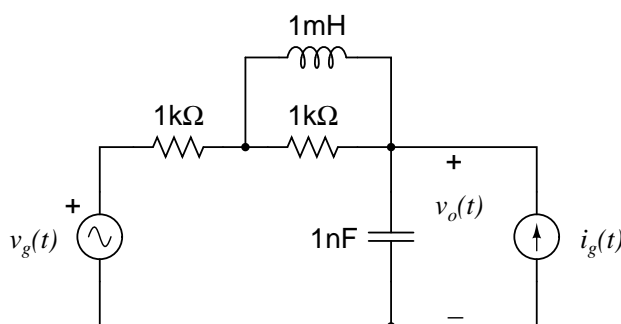


Fig. 4.1: Circuit amb dues fonts

**Problema 4.2** (30 min.) Pel circuit de la **figura 4.2** i també pel de la **figura 4.3**,

- Obteniu el valor de l'amplificació, donant el seu marge de variació en cas de que aquesta magnitud sigui ajustable.

- b) Modifiqueu el circuit de **figura 4.2**, afegint un element, per tal que a freqüències baixes no canviï el seu comportament, mentre que a freqüències altes l'amplificació sigui 1. Doneu el valor mínim i màxim de l'amplificació, fent que  $R_2$  sigui molt més gran que  $R_1$  i  $R_p$ . Assigneu valors a  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_p$  per tal que l'amplificació a altes freqüències sigui ajustable entre 0,1 i 10.
- c) Seguiu el mateix procés pel circuit de la **figura 4.3**, però fent ara el seu comportament a altes freqüències no es modifiqui, mentre que l'amplificació a baixes freqüències sigui igual a 1. Assigneu valors als elements per aconseguir, en el tram ajustable, una variació entre 0,1 i 10.
- d) Comenteu una aplicació dels circuits a l'àmbit dels senyals d'àudio.

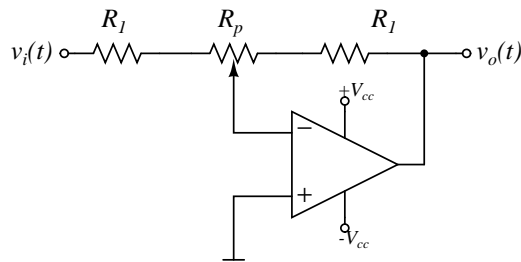


Fig. 4.2

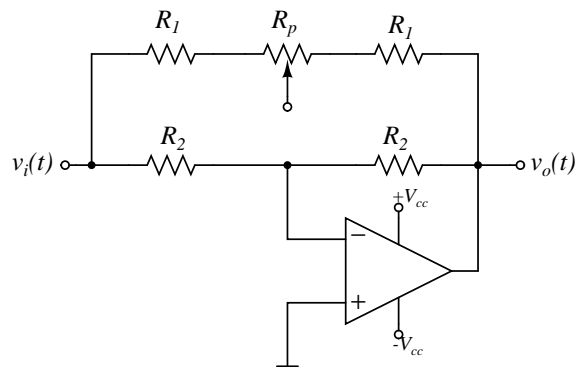


Fig. 4.3

**Problema 4.3 (15 min.)** El circuit de la **figura 4.4** presenta una impedància d'entrada que depèn de la freqüència.

- Suposant que  $R_1 = R_2$ , determineu si existeix alguna freqüència a la qual el circuit ressoni, és a dir, a la qual la impedància d'entrada  $Z(j\omega)$  sigui real pura.
- Si la resposta a l'apartat **a)** ha estat afirmativa, calculeu el valor d'aquesta freqüència especial en el cas que els valors dels elements siguin  $R_1 = R_2 = 1k\Omega$ ,  $L = 22mH$  i  $C = 47nF$ .
- Utilitzant els mateixos valors d'elements que l'apartat **b)**, i suposant una excitació sinusoidal d'amplitud 1V, calculeu la tensió  $v_o(t)$  entre el node intermig i el node inferior.

**Problema 4.4 (30 min.)** Es tracta de recuperar un senyal sinusoidal de freqüència 8 kHz contaminat amb dues interferències també sinusoidals de 4 kHz i 40 kHz. Donat que l'amplitud del senyal interferent de més baixa freqüència és considerable, es pretén dissenyar un filtre que elimini completament aquesta interferència i atenuï la de freqüència més elevada, deixant intacte el senyal de 8 kHz. Basant-vos en l'estructura de la **figura 4.5**,

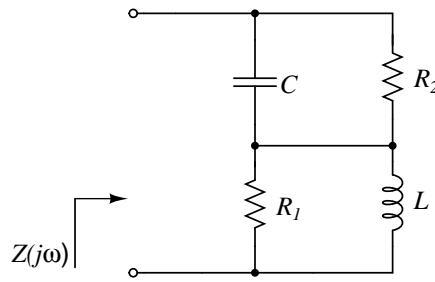


Fig. 4.4: Circuit del problema 4.3

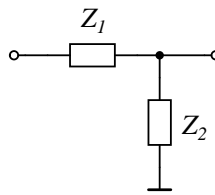


Fig. 4.5: Problema 4.4. Estructura de partida

- Proposeu dos circuits que siguin capaços d'eliminar completament la interferència de 4 kHz.
- A continuació, afegiu un element a l'estructura de cadascun d'aquests circuits de manera que, a més de complir l'especificació anterior, deixin invariant el senyal de 8 kHz i atenuïn la interferència de 40 kHz.
- Per un dels circuits resultants, assigneu ara valors als elements per tal que es compleixin les especificacions anteriors, essent l'atenuació del senyal interferent de 40 kHz superior a 25.

**Problema 4.5 (20 min.)** La freqüència de la font de corrent que actua com a excitació al circuit de la [figura 4.6](#) s'ajusta fins que la tensió  $v(t)$  es posa en fase amb ella.

- Determineu el valor d'aquesta freqüència.
- Suposant  $i_g(t)$  una sinusoide d'amplitud 0,25 mA i  $f$  la trobada a l'apartat anterior, obteniu  $v(t)$ .

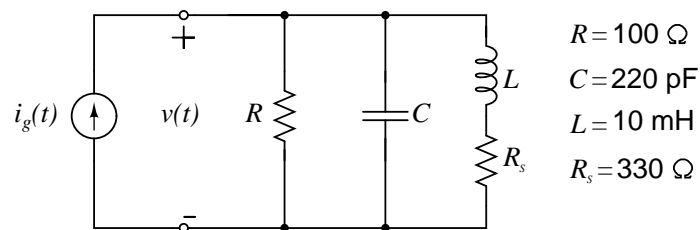


Fig. 4.6

**Problema 4.6 (45 min.)** Es disposa d'un generador sinusoïdal que presenta una impedància interna  $Z_g = 75 - j100 \Omega$  a la freqüència de treball,  $f = 10$  MHz, i que proporciona una tensió en circuit obert d'amplitud igual a 1 V. Es demana:

- Calcular la màxima potència que aquest generador pot transferir a una càrrega de  $300\ \Omega$  en condicions d'adaptació.
- Dissenyar una xarxa LC que permeti adaptar el generador a la càrrega de l'apartat anterior i que a més a més atenui les altes freqüències.

Es tracta ara d'avaluar les repercussions que té el fet d'implementar aquesta xarxa amb bobines que presenten un factor de qualitat  $Q_b = 15$  a la freqüència de treball.

- Calculeu la potència a la càrrega en aquestes condicions.
- Determineu l'eficiència de la xarxa adaptadora,  $\eta$ , definida com la fracció de la potència lliurada pel generador que és transferida a la càrrega.

Finalment, es procedirà a validar els resultats obtinguts als apartats anteriors. Per fer-ho es suggereix:

- Simular el circuit amb GnuCap corroborant els resultats de tots els apartats anteriors. (Adjunteu els resultats de la simulació).

**Problema 4.7 (45 min.)** Al circuit de la figura 4.7a el generador  $v_g$  proporciona una tensió sinusoidal de valor eficaç  $1\text{ V}$  i freqüència ajustable en un ampli rang. Les mesures de la potència dissipada a la càrrega  $R_L$  en funció de la freqüència han donat lloc a la corba representada a la figura 4.7b.

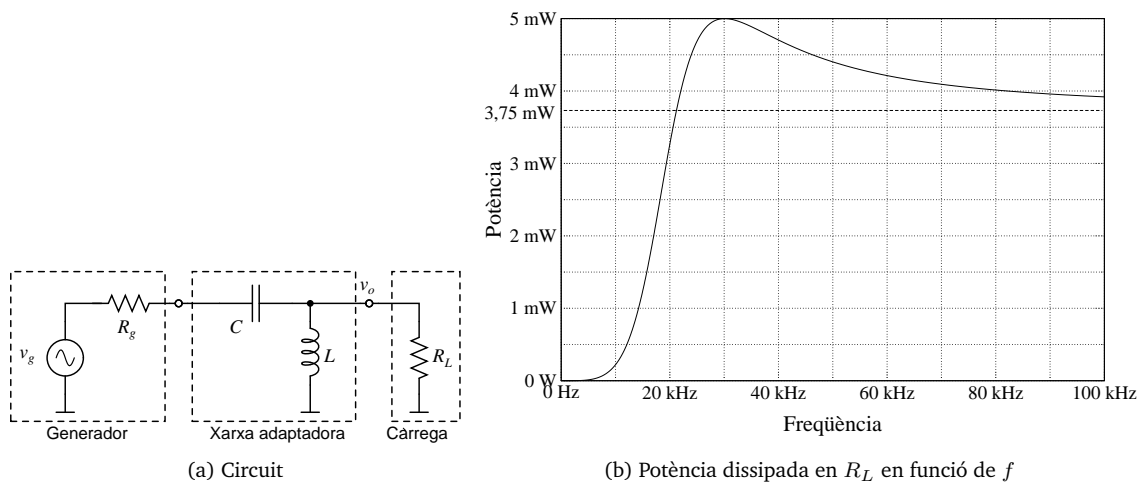


Fig. 4.7

Es demana:

- Corroboreu sobre el circuit que en contínua la potència dissipada a la càrrega és efectivament nul·la.
- Determineu la freqüència a la qual la xarxa adaptadora compleix amb el seu objectiu, tot obtenint al mateix temps el valor de la resistència del generador,  $R_g$ .
- Calculeu el valor de la resistència de càrrega,  $R_L$ , a partir de la mesura de potència a freqüències elevades.
- Deduïu els valors de la capacitat,  $C$ , i la inductància,  $L$ , dels elements que formen la xarxa adaptadora.

- e) Una vegada obtinguts en els apartats anteriors els valors de tots els elements del circuit, corroboreu amb GnuCap el valor de la potència dissipada a  $R_L$  en adaptació i a freqüències elevades.
- f) A partir de la relació existent entre l'amplificació  $|H(j\omega)| = \frac{|\bar{V}_o|}{|\bar{V}_g|}$  i la potència a la càrrega, esbosseu la corba de l'amplificació en funció de la freqüència.

**Problema 4.8 (30 min.)** En RPS, el fet de disposar de forma natural d'impedàncies tant positives com negatives ens permet construir fàcilment circuits amb funcionalitats molt interessants, que altrament serien més difícils d'obtenir. Un exemple d'aquests circuits és l'anomenat inversor d'impedàncies, dibuixat a la **figura 4.8**, el qual té la propietat que tota impedància  $Z_L$  connectada a la seva sortida es veu des de l'entrada com una impedància  $k/Z_L$ . Es demana:

- a) Demostreu la propietat esmentada, expressant el valor de  $k$  en funció de  $X_o$ .
- b) Raoneu si l'inversor d'impedàncies dissipa potència o no.

Observeu que, ateses les propietats que heu demostrat a l'**apartat a)** i l'**apartat b)**, una utilitat immediata de l'inversor d'impedàncies és la d'actuar com a xarxa adaptadora entre dues impedàncies reals de valors arbitraris. Per tal d'aplicar aquesta propietat, es demana:

- c) Dissenyeu un circuit inversor d'impedàncies que actui com a xarxa adaptadora a la freqüència d'1 MHz entre una font sinusoidal d'amplitud 2 V i resistència interna  $75 \Omega$ , i una càrrega de  $300 \Omega$ . Dibuixeu el circuit resultant detallant el tipus i valor dels elements.
- d) En les condicions de l'**apartat c)**, calculeu la potència dissipada a la càrrega.
- e) Calculeu i dibuixeu en un diagrama a escala els fasors corresponents a la tensió en cadascun dels elements del circuit final.

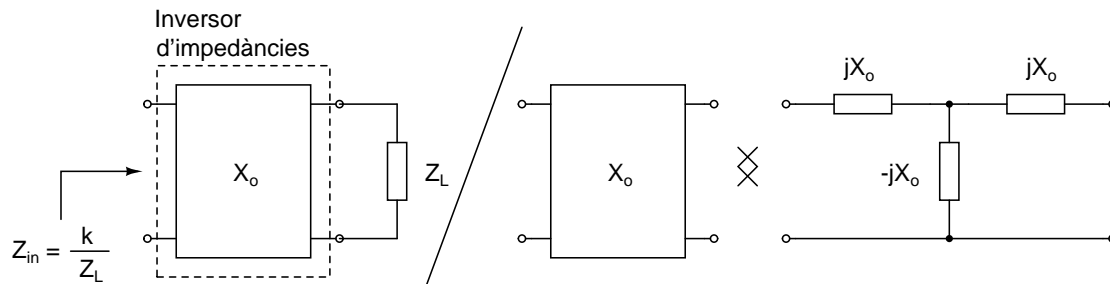


Fig. 4.8

## Tema 5

# Resposta freqüencial

### Objectius:

- Representar gràficament en escales lineals i logarítmiques (traçats de Bode) les corbes de resposta freqüencial.
- Predir el tipus de resposta freqüencial a partir del comportament asimptòtic del circuit i a freqüències de comportament singular.
- Determinar, a partir d'unes especificacions, els paràmetres d'un filtre i dissenyar-lo (primer i segon ordre).
- Dissenyar filtres de resposta freqüencial arbitrària mitjançant blocs funcionals basats en AO.
- Aplicar tècniques de filtratge per a l'obtenció de components freqüencials de senyals.

**Problema 5.1 (30 min.)** Aquest problema tracta de modificar, afegint un element, un amplificador inversor d'amplificació 10. L'objectiu és que el circuit resultant sigui capaç d'eliminar un possible component continu del senyal d'entrada, a la vegada que l'amplificació dels components variables es vegi poc afectada. Concretament es demana que l'amplificació a freqüències superiors a 20 Hz sigui més gran que 9,5. Dissenyeu el circuit (estructura i valor dels elements) i verifiqueu que compleix les especificacions simulant el circuit amb GnuCap .

**Problema 5.2 (35 min.)** En el circuit de la [figura 5.1](#), del qual només es coneix el valor de la inductància, s'han efectuat una sèrie de mesures d'amplificació en funció de la freqüència, tot obtenint la corba representada a la [figura 5.2](#). Es demana:

- A la vista de la corba d'amplificació, determinar les freqüències de ressonància del conjunt  $L_1$ - $C_1$ , i de la combinació d'aquest amb  $C_2$ .
- A continuació es procedirà a determinar els valors de tots els components, basant-se en les dades de la gràfica que es considerin convenients. Per fer-ho es recomana seguir la seqüència següent:  $C_1$ ,  $C_2$ , la relació  $R_1/R_2$ , i finalment  $R_1$  i  $R_2$ .

**Problema 5.3 (40 min.)** Donada la funció de xarxa de la següent equació:

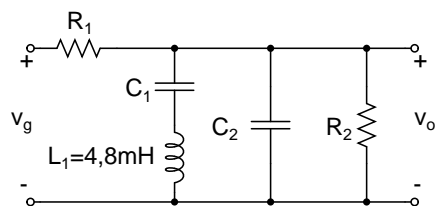


Fig. 5.1

## Resposta freqüencial del filtre

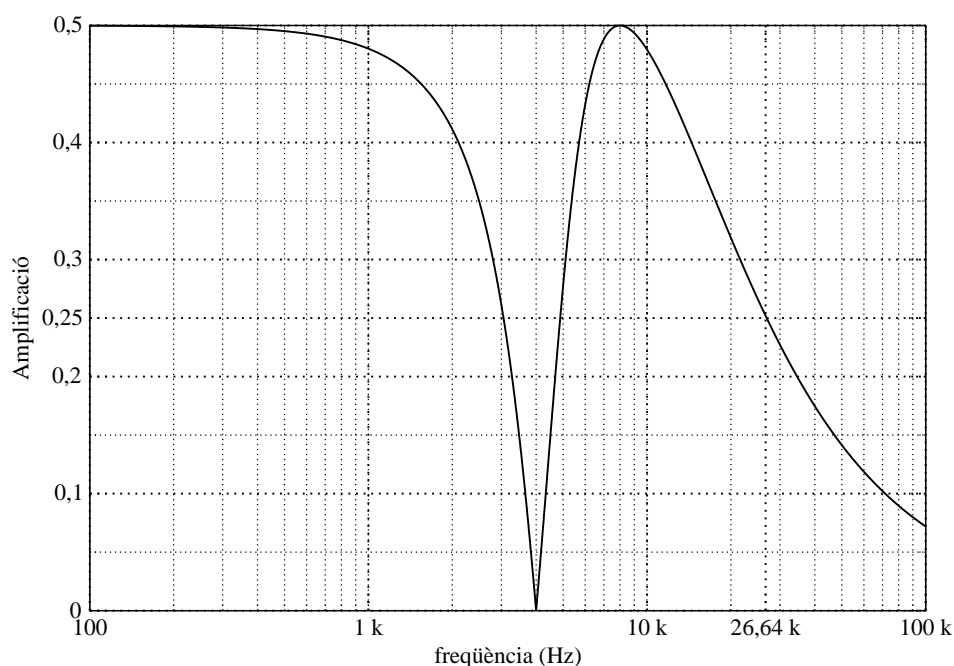


Fig. 5.2

$$H(s) = \frac{\omega_p}{\omega_z} \cdot \frac{s + \omega_z}{s + \omega_p} \text{ amb } \omega_p \gg \omega_z$$

- Determineu l'amplificació en contínua i a altes freqüències.
- Dibuixeu amb detall el diagrama asimptòtic de Bode de guany, incorporant després les correccions.
- Assigneu valors a  $\omega_p$  i  $\omega_z$  per tal que el guany sigui de 20 dB a la banda d'àudio (20 Hz-20 kHz).
- Partint de l'estructura de la **figura 5.3**, dissenyeu un circuit que compleixi les especificacions anteriors. Dibuixeu l'esquema detallat d'aquesta realització.
- Verifiqueu el disseny simulant el circuit amb GnuCap

**Problema 5.4 (40 min.)** Els transductors sísmics tenen la capacitat de convertir els moviments mecànics del sòl en senyals elèctrics. En certs tipus de transductors, la relació entre la tensió generada  $v(t)$  i el desplaçament mecànic  $x(t)$  (**figura 5.4**) es pot expressar a través de la funció de transferència:

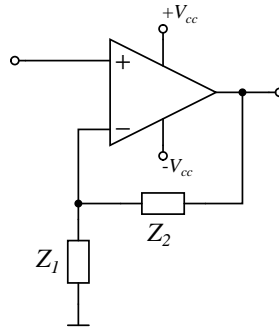


Fig. 5.3

$$H_T(s) = \frac{V(s)}{X(s)} = K \cdot \frac{s}{s + 2\pi f_c} \quad (5.1)$$

on  $K$  representa la sensibilitat del transductor i  $f_c$  la seva freqüència de tall.

- a) Per a  $K = 1000 \text{ V/m}$  i  $f_c = 0.1 \text{ Hz}$ , dibuixeu amb detall el diagrama de Bode de guany associat a  $H_T(s)$ , indicant quin tipus de filtrat realitza.

En algunes aplicacions, els senyals d'interès presenten components freqüencials per sota de la freqüència  $f_c$ . En aquests casos convé utilitzar un equalitzador per estendre el rang de mesura per sota de  $f_c$  sense alterar la sensibilitat. L'equalitzador es connecta en cascada a la sortida del transductor, tal com es mostra a la **figura 5.4**. Amb els valors considerats a l'**apartat a)** es demana:

- b) Determinar la funció de transferència  $H_E(s)$  que ha de tenir l'equalitzador per tal que la funció de transferència del conjunt transductor-amplificador  $H(s) = \frac{V_o(s)}{X(s)}$  conservi la forma donada per l'equació (5.1) amb la mateixa sensibilitat, però amb una nova freqüència de tall de valor  $0.01 \text{ Hz}$ .
- c) Dibuixar el diagrama de Bode de guany proporcionat pel conjunt transductor-equalitzador.
- d) Dissenyar un circuit (estructura i valors dels components) que realitzi  $H_E(s)$ . Utilitzeu condensadors de  $47 \mu\text{F}$ .
- e) Verifiqueu el disseny simulant el circuit amb GnuCap

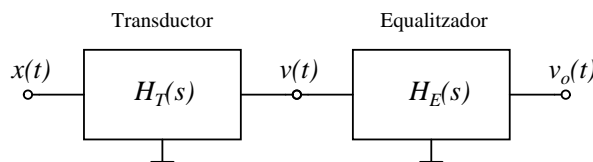


Fig. 5.4

**Problema 5.5 (45 min.)** A l'entrada del circuit de la **figura 5.5** arriben superposats un senyal útil de  $1 \text{ kHz}$  i un altre d'interferent de  $4 \text{ kHz}$ , ambdós sinusoidals i de la mateixa amplitud. Per tal de verificar que aquest circuit deixa passar el senyal útil i elimina l'interferent es proposa fer el següent estudi:

- a) Trobar la tensió de sortida del circuit de la **figura 5.5**,  $v_o(t)$ , per a freqüències altes i baixes.



- b) A partir dels resultats de l'apartat anterior i de l'estructura del circuit (sense analitzar-lo) dir quin tipus de filtrat realitza i donar la forma general de la seva funció de xarxa  $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ .
- c) Determinar els paràmetres del filtre per tal que el guany a la freqüència del senyal útil sigui de 14 dB i l'atenuació del senyal interferent sigui de 17,5 dB.
- d) Analitzar el circuit obtenint ara la funció de xarxa  $H(s)$  en funció dels paràmetres circuital.
- e) Assignar valors als elements del circuit per tal que es compleixin les especificacions de l'apartat c) (Es suggereix utilitzar condensadors de 8,2 nF).
- f) Dibuixar el diagrama de Bode de guany corresponent al circuit de la figura 5.5 (diagrama assintòtic més les correccions adients).

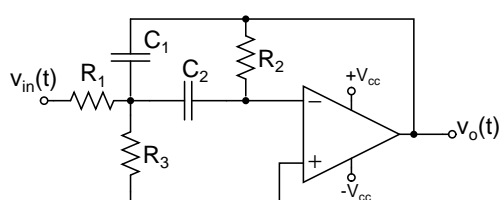


Fig. 5.5

**Problema 5.6 (45 min.)** La documentació d'un circuit antic ha quedat parcialment il·legible per culpa de la humitat, tal i com es mostra a la figura 5.6. Cal, per tant, reconstruir la informació perduda. A tal efecte, després d'estudiar la situació una experta enginyera ha determinat que és possible fer-ho a partir de la informació de què disposem, i ens ha recomanat seguir els següents passos:

- a) Analitzar l'únic circuit que es veu complet (circuit 2) determinant la seva funció de xarxa  $H_2(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ .
- b) A partir de la informació obtinguda a l'apartat a), reconstruir amb el màxim de detall el diagrama de Bode de tot el conjunt ( $H_1(s) \cdot H_2(s)$ ), i trobar la funció de xarxa associada.
- c) Calcular els valors de  $K$  i  $\omega_c$  per al circuit 1.
- d) Proposar una possible estructura per al circuit 1, indicant també el valor dels elements emprats.
- e) Com a qüestió addicional, es demana trobar el valor aproximat de les freqüències a les quals l'amplificació del circuit global és 1.

**Problema 5.7 (40 min.)** Un circuit de comunicacions destinat a l'amplificació de senyals febles està caracteritzat per la següent funció de xarxa:

$$H_1(s) = \frac{V_{o1}(s)}{V_i(s)} = 6,28 \cdot 10^6 \frac{s + 62,8}{s^2 + 6,47 \cdot 10^4 s + 1,18 \cdot 10^8}$$

- a) Dibuixeu amb detall el diagrama de Bode de guany en l'interval de freqüències comprès entre 1 Hz i 100 kHz.

Atès que l'amplificador presenta una resposta que depèn de la freqüència dins l'interval d'interès, es pretén compensar aquest comportament mitjançant un circuit equalitzador, tal i com es mostra a la figura 5.7.

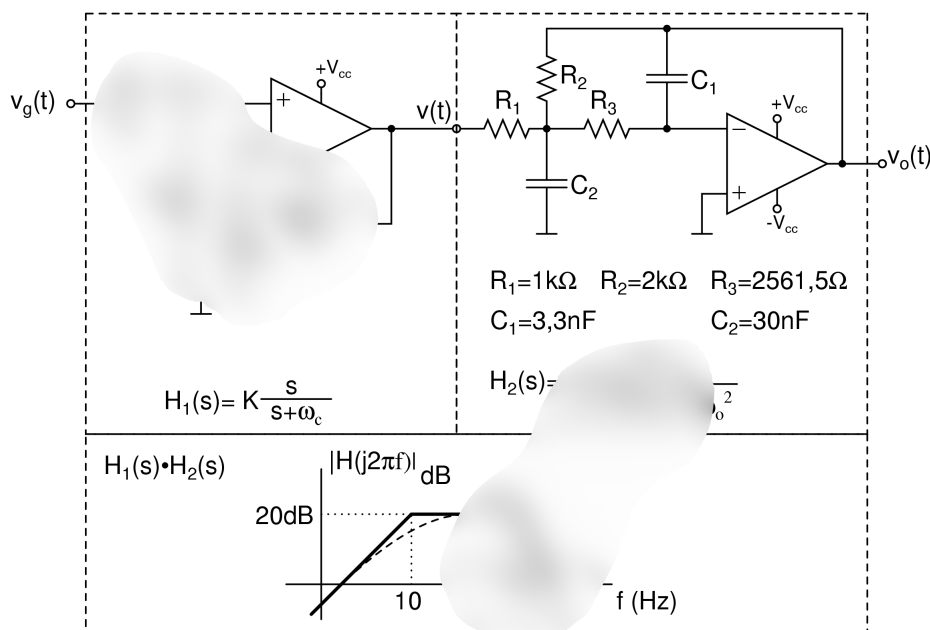


Fig. 5.6

- b) Doneu una expressió de la funció de xarxa  $H_2(s)$  per tal que el guany del conjunt amplificador+equalitzador es mantingui constant i de valor igual a 40 dB dins la banda d'1 Hz a 100 kHz.
- c) Proposeu un circuit que permeti implementar la funció de xarxa  $H_2(s)$  calculada a l'apartat anterior, indicant les relacions que han de complir els valors dels elements.

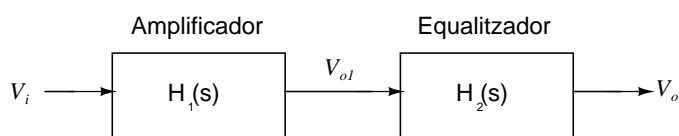


Fig. 5.7

**Problema 5.8 (45 min.)** A partir del diagrama de Bode de guany de la figura 5.8, es demana:

- a) Trobar una funció de xarxa que correspongui a aquesta resposta freqüencial.

Es pretén ara realitzar aquesta funció de xarxa a partir de la connexió en cascada de dues etapes més simples, tal i com es mostra a la figura 5.9.

- b) Obtenir la funció de xarxa de la primera etapa, que anomenarem  $H_1(s)$ , i calcular-ne els paràmetres  $\omega_o$  i  $\xi$ .
- c) Donar una expressió general de la funció de xarxa de la segona etapa,  $H_2(s)$ , per tal que el circuit global tingui la mateixa funció de xarxa que s'ha trobat a l'apartat a).
- d) Proposar l'estructura d'un circuit que realitzi  $H_2(s)$ .
- e) Trobar totes les relacions que han de verificar els valors dels elements per tal que la resposta freqüencial del circuit global es correspongui amb la corba de la figura 5.8.

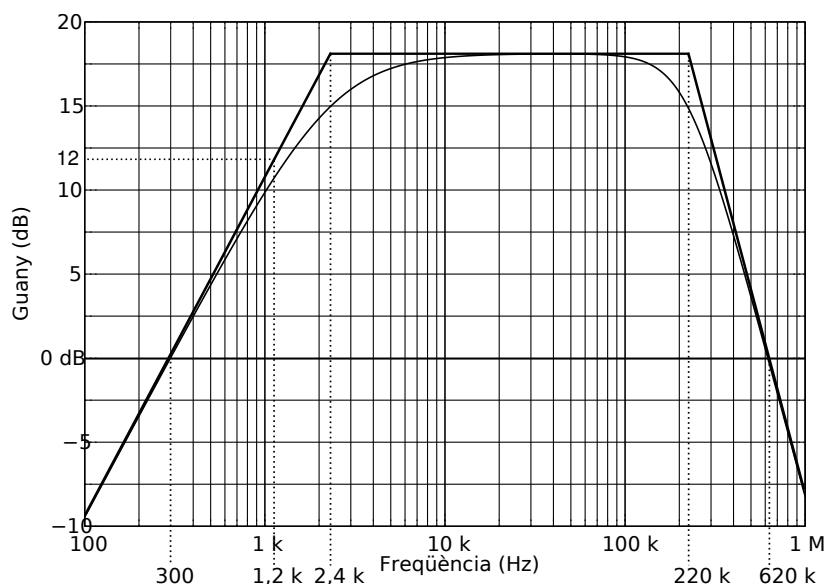


Fig. 5.8: Resposta freqüencial desitjada

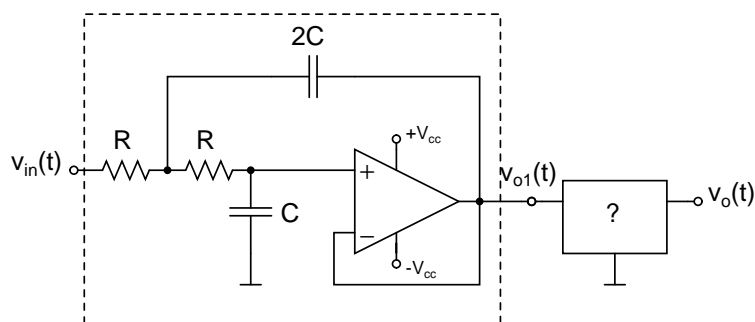


Fig. 5.9: Síntesi de la resposta amb etapes en cascada

**Problema 5.9 (40 min.)** Es pretén dissenyar un circuit equalitzador que tingui una resposta freqüencial com la representada a la [figura 5.10](#). Per fer-ho, es demana:

- Doneu els valors d'amplificació,  $|H(j\omega)|$ , per a freqüències baixes i altes.
- Trobeu una funció de xarxa que es pugui correspondre amb aquesta resposta freqüencial.
- Dibuixeu l'esquema circuital d'una estructura que realitzi aquesta funció de xarxa i determineu la relacions que han de complir els seus paràmetres per tal que la seva resposta en freqüència sigui com la representada a la [figura 5.10](#).

**Problema 5.10 (35 min.)** Donada la corba de guany de la [figura 5.11](#), es demana:

- Digueu de qui tipus de filtre es tracta i trobeu la banda de pas.
- Determineu els pendents de les rectes que apareixen al diagrama asimptòtic de guany representat i dibuixeu el diagrama pol-zero d'una funció de xarxa que pugui correspondre a aquest diagrama de guany.
- D'entre els circuits de la [figura 5.12](#), escolliu-ne un que pugui proporcionar la resposta de la [figura 5.11](#).

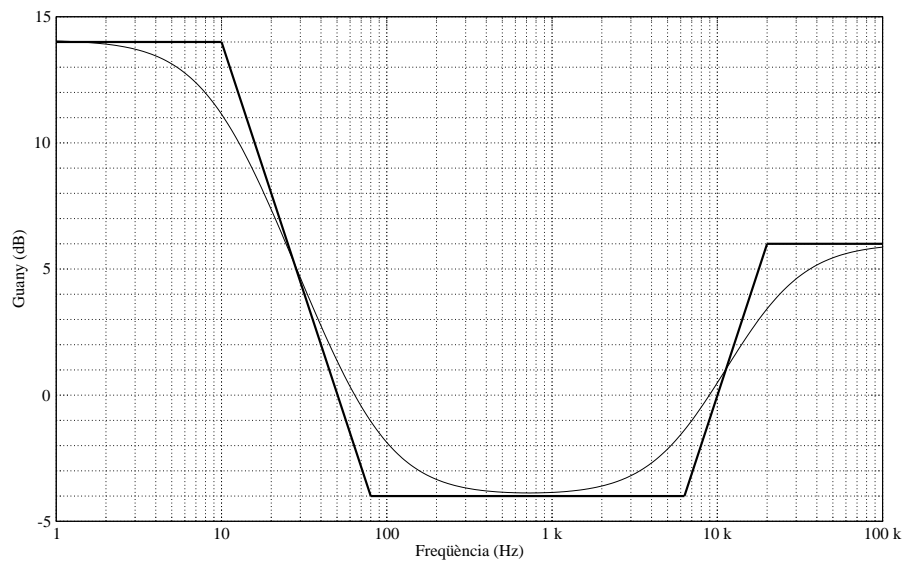


Fig. 5.10

- d) Un cop triada l'estructura del circuit, calculeu ara els seus paràmetres per tal que la seva resposta freqüencial correspongui a la representada a la [figura 5.11](#).

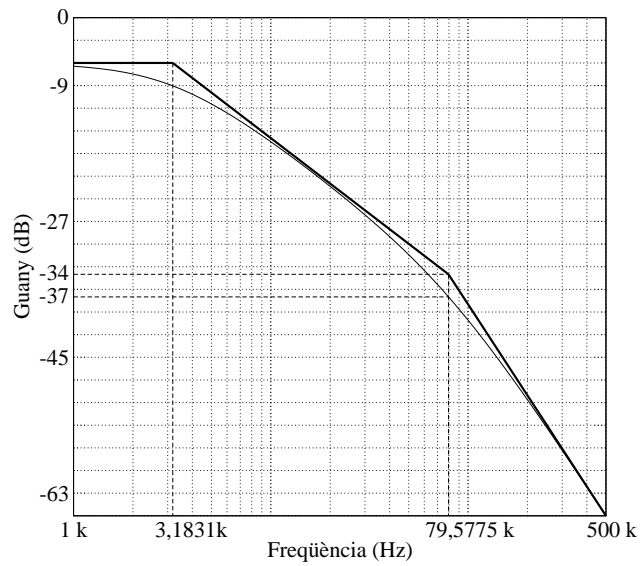


Fig. 5.11

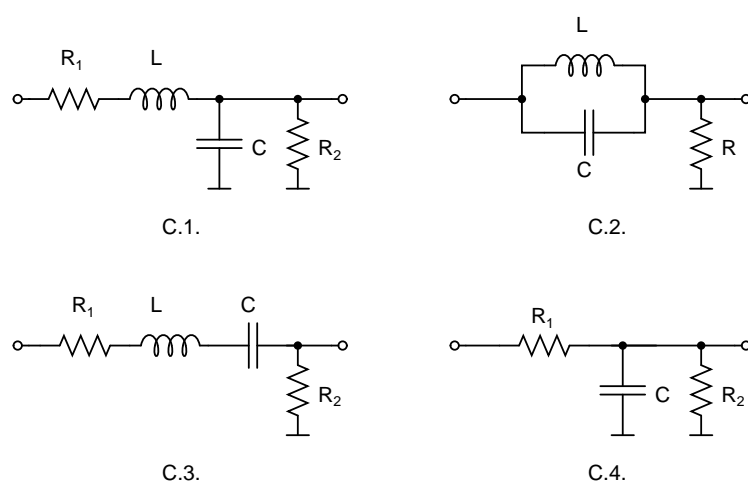


Fig. 5.12

## Tema 6

# Representació freqüencial dels senyals

### Objectius:

- Representació espectral de senyals periòdics.
- Obtenció de l'espectre de sortida d'un circuit a partir de l'espectre d'entrada.
- Aplicació de tècniques de filtrat per a l'obtenció de components freqüencials de senyals.

**Problema 6.1 (30 min.)** Com ja és conegut, l'espectre de qualsevol senyal periòdic de freqüència  $f_o$  presenta components sinusoidals de freqüències  $f_o$ ,  $2f_o$ ,  $3f_o$ ,  $4f_o$ , etc. A més, també té un component continu (freqüència nul·la) de valor igual al valor mig del senyal. Donat que en aquest experiment es pretén dissenyar i realitzar un circuit que permeti obtenir el component continu d'un senyal periòdic aplicat a la seva entrada, és necessari efectuar un filtrat d'aquest senyal de manera que només deixi passar el component espectral situat a freqüència nul·la. Així, si el senyal periòdic s'aplica a l'entrada d'un filtre pas-baix amb una freqüència de tall  $f_c$  molt menor que  $f_o$ , a la sortida del circuit s'obtindrà el component continu del senyal d'entrada, doncs tant l'armònic fonamental com els harmònics superiors es veuran fortament atenuats. Per al circuit de la [figura 6.1](#), es demana:

- Dibuixar la corba d'amplificació, donant l'expressió de la freqüència de tall  $f_c$  en funció dels paràmetres del circuit.
- Essent  $v_g(t)$  un senyal periòdic de freqüència 1,5 kHz, determinar el valor màxim de la freqüència de tall  $f_c$  per tal que l'atenuació del primer harmònic sigui de 40 dB.
- Assignar valors a R i C per aconseguir una freqüència de tall de 6 Hz.
- Verificar que el disseny és correcte, obtenint les corbes de resposta freqüencial amb GnuCap .
- Essent  $v_g(t)$  un tren de polsos d'amplitud 1 V, freqüència 1,5 kHz i cicle de treball del  $\delta=50\%$  ([figura 6.2](#)), dibuixar amb precisió els espectres d'amplitud dels senyals d'entrada i de sortida del filtre pas-baix dissenyat en l'[apartat c](#)).
- Per al senyal  $v_g(t)$  representat a la [figura 6.3](#), expressar  $v_o(t)$  en funció del cicle de treball del senyal d'entrada,  $\delta$ .

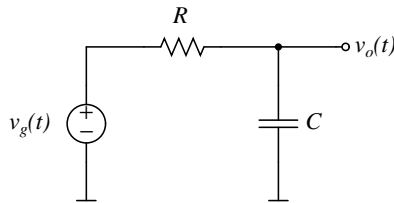


Fig. 6.1

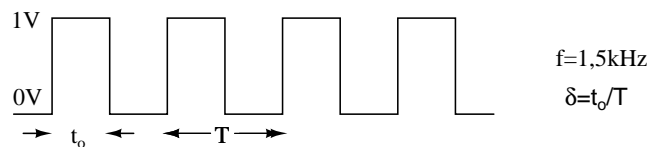


Fig. 6.2

**Problema 6.2 (45 min.)** Un generador proporciona un senyal amb un component útil de freqüència 30 MHz i d'altres interferents. L'espectre d'amplitud d'aquest senyal és el representat a la **figura 6.4** i es pretén dissenyar un circuit que elimini les interferències tot transferint la màxima potència possible de senyal útil des del generador cap a la càrrega (**figura 6.5**). Per fer-ho, es recomana que seguiu els següents passos:

- Tenint en compte que  $R_g = 500 \Omega$  i  $R_L = 50 \Omega$ , dissenyeu una xarxa adaptadora que produeixi màxima transferència de potència a la freqüència de 30 MHz i al mateix temps anul·li el component continu del senyal del generador.
- Determineu el valor de la potència que dissipa la càrrega a 30 MHz.
- A partir dels resultats dels apartats anteriors calculeu l'amplificació,  $|H(j\omega)| = \frac{|\overline{V}_L|}{|\overline{V}_g|}$ , a les freqüències de: 0, 19 MHz, 30 MHz i  $\infty$ . Esbosseu la corba d'amplificació del circuit.
- Dibuixeu l'espectre d'amplitud del senyal de sortida.
- Modifiqueu el disseny de la xarxa adaptadora per tal que es segueixin complint les especificacions anteriors però ara el circuit també anul·li la interferència de 19 MHz.
- Esbosseu la nova corba d'amplificació del circuit i dibuixeu de nou l'espectre d'amplitud del senyal de sortida en aquest últim cas.

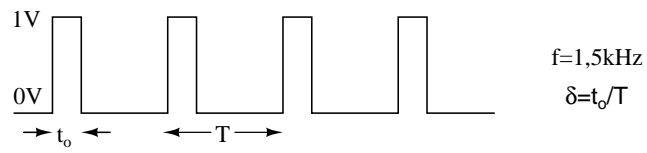


Fig. 6.3

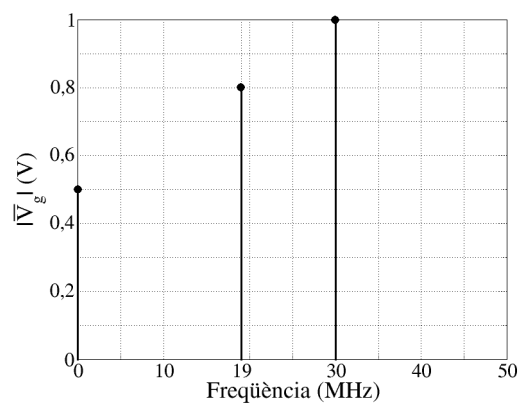


Fig. 6.4

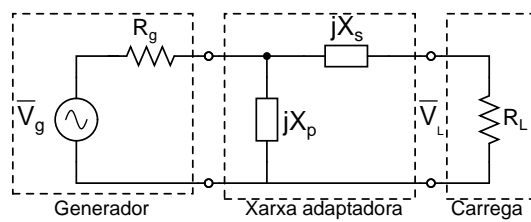


Fig. 6.5



## Tema 7

# Resposta temporal

### Objectius:

- Analitzar circuits dinàmics lineals mitjançant el circuit transformat de Laplace.
- Determinar la funció de xarxa.
- Distingir i classificar els components de la resposta temporal d'un circuit
- Determinar l'estabilitat de circuits de primer i segon ordre.
- Determinar la durada del règim transitori de circuits estables
- Simular la resposta temporal de circuits

**Problema 7.1 (45 min.)** Un sistema físic, del qual es desconeix la seva estructura interna, té accessibles des de l'exterior únicament els terminals d'entrada i de sortida, segons es mostra a la **figura 7.1**, essent els senyals  $v_{in}(t)$  i  $v_o(t)$  tensions elèctriques. Per tal d'obtenir informació sobre el seu comportament, s'ha excitat el sistema amb un graó unitari,  $v_{in}(t) = u(t)$ , obtenint a la sortida el senyal  $v_o(t)$  que es representa a la **figura 7.2**.

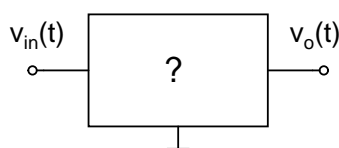


Fig. 7.1

Es demana:

- a) Sabent que la funció de transferència del sistema  $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)}$  correspon a una de les de les següents:

$$H_1(s) = \frac{10}{s + 10}$$

$$H_2(s) = \frac{2500}{s^2 + 10s + 2500}$$

$$H_3(s) = \frac{10s}{s^2 + 10s + 2500}$$

$$H_4(s) = \frac{150s}{s^2 + 150s + 2500}$$

indicar de quina es tracta, i descriure detalladament les raons per les quals s'ha acceptat aquesta i s'ha rebutjat la resta.

- Estimar el valor de la durada del règim transitori. Després de veure la resposta, es decideix que no és del tot adequada a l'aplicació que s'està desenvolupant perquè el transitori és excessivament llarg. Per modificar les seves característiques i donat que no es té accés a l'interior del sistema, es proposa fer-ho segons el diagrama de blocs de la **figura 7.3**.
- Definint com a funció de transferència global  $M(s) = \frac{V_o(s)}{V_{in}(s)}$ , demostrar que  $M(s)$  es pot expressar com  $M(s) = \frac{H(s)}{1+KH(s)}$ .
- Utilitzant el resultat de l'**apartat a)**, determinar  $M(s)$  en funció de  $K$ .
- Determinar el valor de  $K$  adient per tal que la durada del règim transitori es redueixi a la quarta part de l'obtinguda a l'**apartat b)**.
- Donar una realització circuital del diagrama de la **figura 7.3**, exceptuant el sistema físic definit per  $H(s)$ .

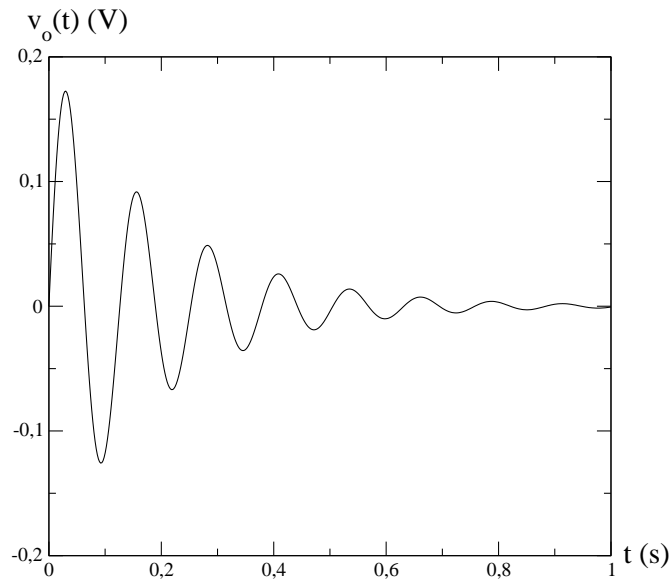


Fig. 7.2

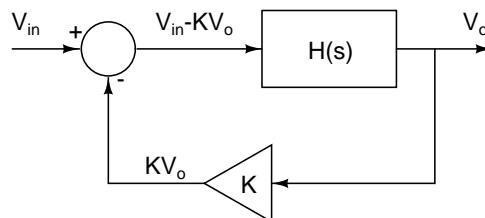


Fig. 7.3

**Problema 7.2 (45 min.)** Donat el circuit de la **figura 7.4**, es demana:

- Determinar la funció de xarxa.

- Per  $K = 2$ , donar la forma de la resposta lliure i assignar valors als elements per tal que la durada del transitori sigui de 1 ms.
- Demostrar que els pols de la funció de xarxa no son mai reals negatius simples.
- Respectant els valors de  $R$  i  $C$ , proposar una modificació del circuit a fi que la resposta lliure sigui sobreesmorteïda. Dibuixar l'esquema del circuit proposat.

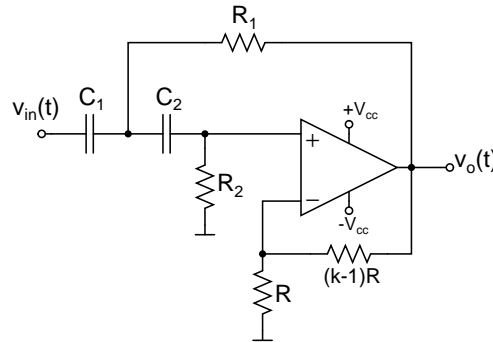


Fig. 7.4

**Problema 7.3** (40 min.) Per al circuit de la **figura 7.5**, es demana:

- Determinar la funció de xarxa  $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_g(s)}$  considerant  $R_g \ll R_d$ .
- Discutir l'estabilitat del circuit.
- Obtenir els valors inicial i final de la resposta a un graó unitari raonant directament sobre el circuit, i establir la coherència d'aquests resultats amb els que s'obtenen a partir de la funció de xarxa calculada al primer apartat.
- Amb  $R_g = 50 \Omega$ ,  $R_d = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 4 \text{ pF}$  i  $g_m = 5 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$ , calcular el factor d'esmoreïment, dibuixar el diagrama de pols i zeros del circuit i trobar la durada del règim transitori.

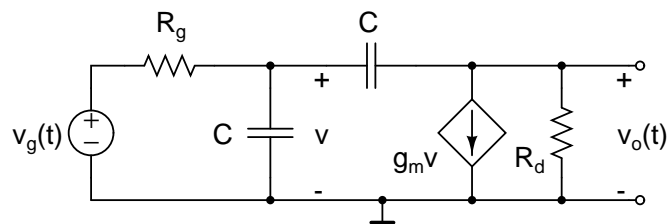


Fig. 7.5

**Problema 7.4** (30 min.) La **figura 7.6a** mostra l'etapa d'entrada d'un receptor per a comunicacions òptiques infraroges. Utilitza com a transductor un fotodiode polaritzat en inversa, el qual genera un corrent  $i_d$  proporcional a la potència lluminosa  $p_{opt}$  incident sobre la seva superfície activa. La **figura 7.6b** mostra el model circuital del fotodiode, que incorpora una capacitat associada a la unió PN polaritzada en inversa.

Suposant que el fotodiode fa molt temps que no rep cap senyal i que en un determinat instant hi incideix el senyal digital representat a la **figura 7.6c**, corresponent a una seqüència de dades de 5 bits, es demana:

- Representar gràficament  $i_d(t)$ .
- Representar gràficament la tensió  $v_o(t)$  generada quan el període de bit  $T_b$  és superior a la durada del règim transitori.
- Per a una freqüència de bit  $f_b = 1/T_b = 10 \text{ kbit/s}$ , calcular  $R$  per tal que  $v_o$  tingui una amplitud de pic a pic d'aproximadament 1 V.
- Fer una estimació de la màxima freqüència de bit  $f_{b\max}$ , expressada en kbit/s, que admet el receptor si es vol que la distorsió introduïda per l'etapa sobre el senyal rebut sigui menyspreable.

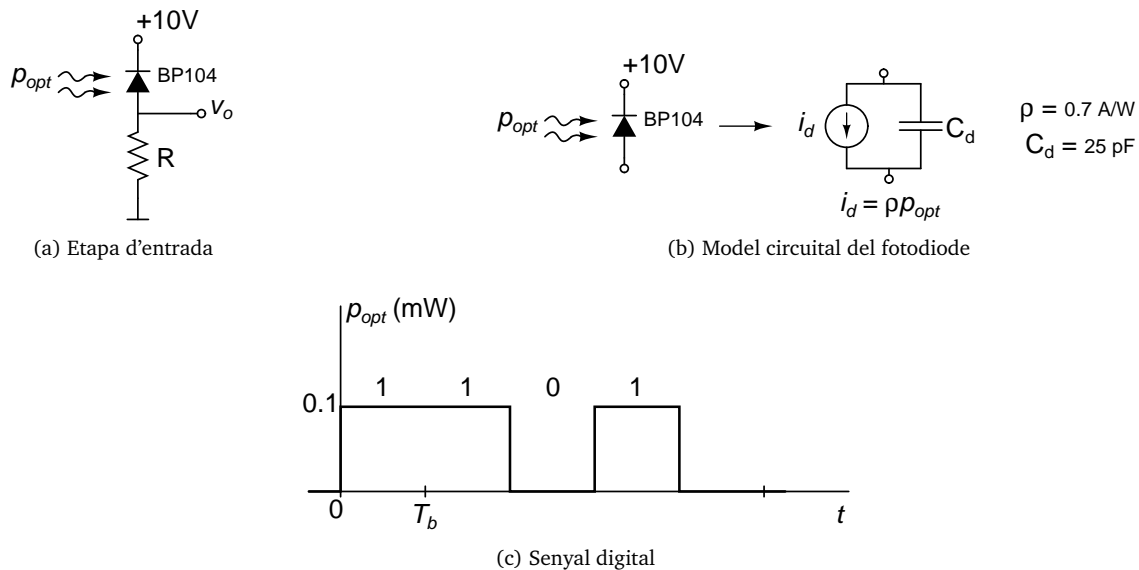


Fig. 7.6

**Problema 7.5 (45 min.)** L'objectiu d'aquest exercici és abordar l'estudi del circuit de la figura 7.7, el qual pot fer-se per parts, estudiant primer els circuits de les figura 7.8a i figura 7.8b. A tal efecte es proposa seguir els següents passos:

- Calculeu la impedància d'entrada vista des dels terminals A i B del circuit de la figura 7.8a i a partir del resultat proposeu un circuit equivalent.
- Determineu la funció de xarxa  $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_g(s)}$  del circuit de la figura 7.8b.
- Tenint en compte els resultats dels apartats anteriors, trobeu la funció de xarxa del circuit representat a la figura 7.7 i discutiu la seva estabilitat.
- Suposant  $C = 3,9 \text{ nF}$  assigneu valors a  $R_1$  i  $R_2$  per tal que la resposta forçada a un senyal sinusoidal de 4 kHz sigui nul·la.
- Amb els valors de l'apartat anterior, dibuixeu el diagrama pol-zero i determineu la durada del transitori.
- Dibuixeu la corba d'amplificació del circuit de la figura 7.7 especificant el seu valor a 2 kHz i 8 kHz. Quin tipus de filtrat realitza aquest circuit?

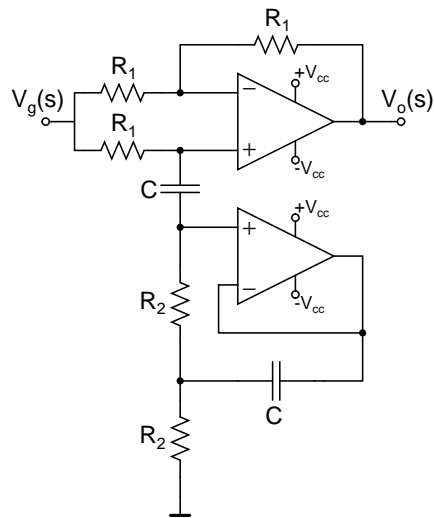


Fig. 7.7: Circuit complet

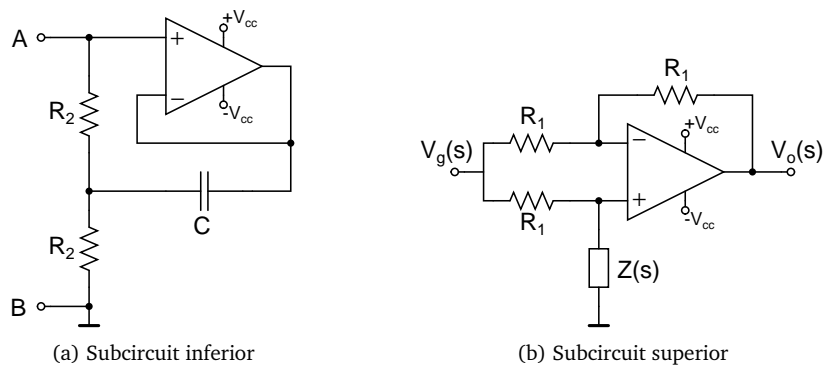


Fig. 7.8: Desglossament del circuit complet