

# heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

Département Technologies Industrielles

Unité EAN1

# Electronique analogique

## Protocoles de laboratoire

i nstitut d'  
**A**utomatisation  
i ndustrielle



Prof. Freddy Mudry



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Quelques informations</b>	<b>3</b>
1.1	Programme du laboratoire EAN . . . . .	3
1.2	Comment tenir un cahier de laboratoire? . . . . .	3
1.2.1	Forme à respecter . . . . .	3
1.2.2	Résumé de la structure demandée . . . . .	4
1.2.3	Point important . . . . .	5
1.3	Evaluation de votre travail . . . . .	5
1.4	Résultats expérimentaux et Matlab . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Mesures et analyses DC</b>	<b>9</b>
2.1	Introduction . . . . .	9
2.2	Résistance interne . . . . .	9
2.3	Générateur équivalent . . . . .	9
2.4	Caractéristique de charge . . . . .	9
2.5	Mesures AC . . . . .	10
2.6	Analyse des résultats . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Mesures et analyses AC</b>	<b>11</b>
3.1	Préalables . . . . .	11
3.2	Prévisions théoriques . . . . .	11
3.3	Mesures . . . . .	12
3.4	Analyse des résultats . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Mesure et modélisation d'une diode</b>	<b>15</b>
4.1	Relevé de la caractéristique d'une diode . . . . .	15
4.1.1	Préalables . . . . .	15
4.1.2	Mesures . . . . .	15
4.1.3	Graphes . . . . .	15
4.2	Modélisation d'une diode . . . . .	16
4.2.1	Modèle linéaire . . . . .	16
4.2.2	Modèle physique . . . . .	16
4.2.3	Analyse des résultats . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Circuits à transistors bipolaires</b>	<b>19</b>
5.1	Caractéristiques du transistor . . . . .	19
5.2	Circuit de base . . . . .	19
5.2.1	Étude théorique . . . . .	20
5.2.2	Simulation . . . . .	20
5.2.3	Mesures . . . . .	20

*Table des matières*

5.2.4	Analyse des résultats . . . . .	21
5.3	Source de courant . . . . .	21
5.3.1	Étude théorique . . . . .	21
5.3.2	Simulation . . . . .	22
5.3.3	Mesures . . . . .	22
5.3.4	Mise en valeur des résultats . . . . .	22
5.3.5	Analyse des résultats . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Amplificateur inverseur</b>	<b>25</b>
6.1	Câblage et alimentation d'un AO . . . . .	25
6.2	Caractéristiques du LF 356 . . . . .	25
6.3	Amplificateur inverseur . . . . .	26
6.3.1	Analyse . . . . .	26
6.3.2	Simulation . . . . .	26
6.3.3	Mesures . . . . .	27
6.3.4	Analyse des résultats . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Quelques informations techniques</b>	<b>29</b>
7.1	Fiches techniques . . . . .	29
7.2	Caractéristiques des condensateurs . . . . .	29

# 1 Quelques informations

## 1.1 Programme du laboratoire EAN

<b>Laboratoire EAN1 : 52 périodes = 13 séances</b>	Périodes	Séances	Semaines
Initiation à Spice / Matlab	12	1-3	
Mesures et analyse DC	8	4-5	
Mesures et analyse AC	8	6-7	
Mesure et modélisation d'une diode	8	8-9	
Circuits à transistors	8	10-11	
A.O. : entre l'idéal et réalité	8	12-13	
<b>Laboratoire EAN2 : 32 périodes = 8 séances</b>	Périodes	Séances	Semaines
Réalisation et mesure d'un filtre actif	8	1-2	
Comparateurs, bascules, circuits PWM	8	3-4	
Générateurs de signaux	8	5-6	
Oscillateurs (VCO et Wien)	8	7-8	

## 1.2 Comment tenir un cahier de laboratoire ?

Afin que les résultats d'une expérience soient utilisables par la suite, il est nécessaire de prendre soigneusement note de ce qui se passe en cours de manipulation. Pour éviter des oublis ou des notes disparates et incomplètes, il faut se fixer une ligne de conduite précise et stricte.

Pour ce faire, procurez-vous un cahier quadrillé 5mm de format A4 que vous réserverez uniquement à ce laboratoire. Dans ce cahier, chaque nouvelle manipulation débutera en haut d'une page de droite et vous y écrirez en respectant la présentation et la structure proposées ci-après.

### 1.2.1 Forme à respecter

Pour chaque manipulation, l'ensemble des dix points suivants figureront obligatoirement :

1. la date et le nom des personnes participant à la manipulation ;
2. le titre de la manipulation (souligné) ;
3. les objectifs à atteindre ;

## 1 Quelques informations

4. une description de l'expérience comprenant les schémas et les calculs préalables ;
5. la simulation correspondante avec schémas et résultats graphiques ou calculés ;
6. la présentation des mesures effectuées doit être précise et complète ; celle-ci doit se faire en donnant :
  - a) le schéma de branchement des instruments ;
  - b) le type et la précision des instruments non-standard ;
  - c) les graphes découlant des mesures ;
7. les tableaux de mesures sont à éviter car dans la plupart des cas on peut **porter les résultats directement sur les graphes de simulation** dont les échelles ont été correctement choisies au préalable ;
8. afin de pouvoir faire une **analyse critique** des résultats théoriques, simulés et expérimentaux, ceux-ci doivent être présentés dans un **tableau comparatif** ; l'analyse doit être claire, précise, argumentée et aussi complète que possible ;
9. le paragraphe de conclusion sera concis et original ; il peut inclure des propositions d'amélioration de la manipulation ;
10. la manipulation se termine en rappelant la date et l'heure de la fin du travail et doit être signée par les expérimentateurs.

### 1.2.2 Résumé de la structure demandée

Date : jj.mm.aa

Noms : Dupont E. / Durand M.

#### TITRE DE LA MANIPULATION

- 1) **Objectifs**
- 2) **Description**  
Schémas  
Calculs
- 3) **Simulation**  
Schéma de simulation  
Résultats de simulation
- 4) **Mesures**  
Schémas de mesures  
Liste des appareils non-standard et de leur précision  
Graphes et résultats des mesures
- 5) **Analyse des résultats avec tableau comparatif**
- 6) **Conclusions**

Date : jj. mm. aa

Heure : hh. mm

Signatures : xxxx et yyyy

**Remarque** Comme un cahier de laboratoire s'écrit au fur et à mesure de la progression du travail, il est évident que des erreurs y apparaîtront. Dans ce cas, il suffit de séparer ce qui est erroné par deux lignes horizontales et de biffer ce qui est incorrect. L'usage intensif de la gomme n'apporte rien, bien au contraire.

### 1.2.3 Point important

Parmi les points mentionnés ci-dessus, il y en a un qui est **particulièrement important** : il s'agit de **l'analyse de l'ensemble des résultats obtenus**. C'est en effet dans cette partie que vous devrez faire preuve d'imagination, de créativité et d'esprit critique. C'est donc ici qu'apparaîtra votre personnalité et que vous montrerez **votre capacité à analyser avec rigueur** ce que vous avez observé et mesuré.

Ce point est suffisamment important pour que, dans l'appréciation de votre travail, il soit prépondérant par rapport aux autres. **Vous devrez donc, pour éviter une mauvaise évaluation, vérifier que les hypothèses formulées expliquent numériquement les résultats obtenus**. En particulier, une remarque telle que : "Les différences observées sont dues au fait que le modèle ne coïncide pas avec la réalité" n'a aucun intérêt si vous ne précisez pas où se situent ces différences et quels sont leurs effets.

## 1.3 Evaluation de votre travail

L'appréciation d'un rapport est particulièrement difficile et subjective car elle dépend essentiellement du sentiment que laisse la première lecture de celui-ci et assez peu du travail qui a été réellement fourni au laboratoire ou pour sa rédaction. Il ne faut cependant pas oublier que, malgré cela, une grande partie de la communication professionnelle se fait au travers de rapports et que, par conséquent, le soin apporté à la rédaction de ceux-ci est important.

Tenant compte de ces remarques, votre rapport sera lu en annotant ses différentes parties à l'aide des symboles ci-dessous qui seront généralement accompagnés de remarques explicatives. La note attribuée pour votre travail (au demi-point près) dépendra de ces appréciations et de la qualité des points suivants. Elle dépassera rarement 5.5 car un demi point est réservé à l'apport personnel se traduisant par une idée originale ou des calculs avancés. N'oubliez pas que **l'analyse des résultats sera surpondérée** par rapport aux autres éléments et qu'un manque de rigueur sera sanctionné par une insuffisance.

Éléments considérés	Symboles	Appréciations	Note
travail effectué		excellent	6.0
présentation et structure	$\oplus$	très bien	5.5
description et calculs	+	bien	5.0
simulation	✓	suffisant	4.5
qualité des mesures	~	passable	4.0
analyse des résultats	$\ominus$	insuffisant	3.5
apport personnel		mauvais	$\leq 3.0$

## 1 Quelques informations

Comme déjà dit, l'évaluation de votre travail n'est pas chose aisée et elle est particulièrement subjective. C'est pourquoi, **si vous éprouvez le sentiment d'avoir été injustement noté, il est de votre devoir de le dire et d'en discuter.** Une bonne argumentation peut montrer une meilleure connaissance de la manipulation que ne l'a laissé accroire votre rapport.

### 1.4 Résultats expérimentaux et Matlab

Les résultats théoriques et expérimentaux sont avantageusement et facilement mis en valeur avec Matlab. Comme exemple, on présente ci-dessous l'étude d'un filtre passe-bas réalisé avec un circuit RC décrit par sa fonction de transfert

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = RC$$

Une illustration de l'étude des réponses fréquentielle et indicielle est donnée à la figure 1.1. On notera que les points expérimentaux sont bien mis en évidence et qu'ils ne doivent pas être reliés entre eux. Les courbes qui sont tracées résultent du modèle théorique du circuit. On retiendra donc le point important suivant :

**DANS UN GRAPHE, IL N'Y A DE POINTS QU'EXPÉRIMENTAUX ET DE COURBES QUE THÉORIQUES.**

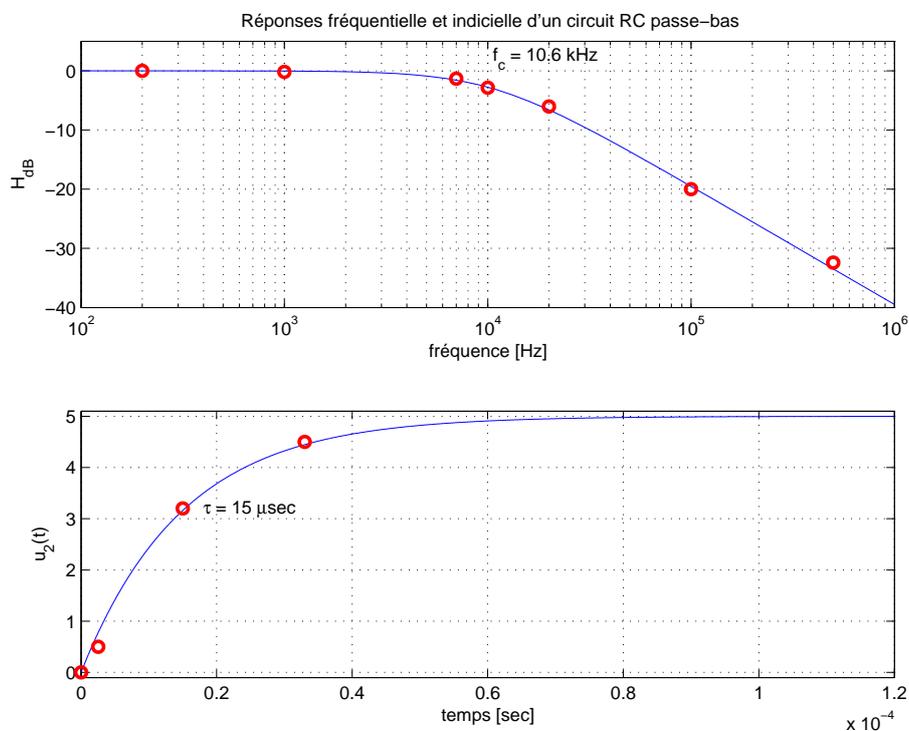


FIG. 1.1: Résultats théoriques et expérimentaux

Voici le fichier Matlab permettant de présenter ces résultats.

```

% initialisation Matlab
clear all; close all; clc;
format compact; format short g;

% fonction de transfert du circuit
R = 15e3; C = 1e-9;
tau = R*C, wc = 1/(R*C), fc = wc/2/pi
num = [0,1]; den = [R*C, 1];
H_RC = tf(num,den);

% réponse fréquentielle
fmin = 100; fmax = 1e6;
ff = logspace(log10(fmin),log10(fmax),500);
Hjw = freqs(num,den, 2*pi*ff);
module = abs(Hjw); phase = angle(Hjw);
% mesures
U1 = 5; % V
f_mes = [0.2, 1, 7, 10, 20, 100, 500]*1e3; % Hz
U2_mes = [5, 4.9, 4.3 3.6, 2.5, 0.5, 0.12]; % V
Hdb_mes = 20*log10(U2_mes/U1);

% réponse indicielle
U1 = 5; % V
tmax = 8*R*C; Npts = 1000; dt = tmax/Npts;
tt = 0 :dt :tmax-dt;
u1t = U1*ones(size(tt)); u1t(1)=0;
u2t = lsim(num,den, u1t,tt);
% mesures
u2t_mes = [0, 0.5, 3.2, 4.5];
tt_mes = [0, 2.5, 15, 33]*1e-6;

% graphes
figure;
subplot(2,1,1);
semilogx(ff, 20*log10(module)); hold on;
semilogx(f_mes,Hdb_mes,'or'); grid on;
axis([fmin,fmax,-40,5]);
% informations
title('Réponses fréquentielle et indicielle d'un circuit RC passe-bas');
xlabel('fréquence [Hz]'); ylabel('H_{dB}');
texte = ['f_c = ', num2str(fc/1000,3), ' kHz'];
text(fc,2,texte);
subplot(2,1,2);
plot(tt,u2t); hold on;
plot(tt_mes, u2t_mes, 'or'); grid on;
axis([0,tmax, -0.1,5.1]);
xlabel('temps [sec]'); ylabel('u_2(t)');
texte = ['\tau = ', num2str(tau*1e6,3), ' \musec'];
text(1.2*tau,3.22,texte);

% création d'un fichier eps contenant la figure
print -depsc rc_pbas.eps

```

## 1 Quelques informations

## 2 Mesures et analyses DC

### Caractéristiques du multimètre HP34401A

$$R_{VM} = 10 \text{ M}\Omega, f_{max} = 100 \text{ kHz}, \quad R_{AM} = 0.1 \Omega, f_{max} = 5 \text{ kHz}$$

### 2.1 Introduction

Dans ce qui suit, vous apprendrez à mesurer et modéliser un même quadripôle de quatre manières différentes. Chacune de celles-ci possède ces avantages et inconvénients ; à vous de les découvrir.

### 2.2 Résistance interne

Servez-vous d'un boîtier mis à votre disposition et relevez son numéro. Après avoir rappelé la définition de la résistance de sortie d'un quadripôle, mesurez à l'aide d'un ohmmètre la résistance vue depuis la sortie. Que faites-vous avec l'entrée ?

### 2.3 Générateur équivalent

Appliquez à l'entrée de ce quadripôle une tension continue  $U_{dc} = 10 \text{ [V]}$ .

1. Mesurez la tension à vide  $U_{co}$  et le courant de court-circuit  $I_{cc}$  du quadripôle.
2. Quels sont les générateurs de Thévenin et de Norton équivalents de ce circuit ?
3. Quelle est la puissance maximum que peut fournir ce circuit à la charge  $R_L$  ?

### 2.4 Caractéristique de charge

On souhaite mesurer le courant de sortie du quadripôle par rapport à la tension fournie à une charge résistive  $R_L$  variable.

1. Dessinez le schéma de l'ensemble avec les instruments de mesure ; comment choisissez-vous leur emplacement ?
2. Comme charge variable, utilisez un potentiomètre logarithmique de quelques dizaines de  $\text{k}\Omega$ . Relevez au moins dix points *régulièrement répartis* entre 0 et  $U_{co}$ .

3. Ouvrez un fichier Matlab (par exemple, `thev.m`) et après l'avoir initialisé portez-y directement les mesures de  $U$  et  $I$  ainsi que celles de  $U_{co}$  et  $I_{cc}$ . Tracez les points mesurés avec `plot(U, I, 'or')`.
4. Avec l'aide de la fonction `polyfit`, calculez puis tracez la droite passant au mieux parmi les points mesurés et donnez son équation (informations au tableau).
5. Que valent  $U_{thv}$ ,  $R_{thv}$  et  $I_{nrt}$  des modèles de Thévenin et Norton ? Comparez-les aux valeurs précédentes.

## 2.5 Mesures AC

Dans le cas où l'on ne peut pas mesurer une droite de charge complète ou court-circuiter la sortie du dipôle, on peut obtenir sa résistance interne en la mesurant en alternatif. Pour cela :

1. Redessinez le schéma de la figure 2.1 en précisant où vous placez les instruments de mesure ; justifiez votre choix.
2. Servez-vous d'un condensateur électrolytique de quelques  $\mu\text{F}$ . Câblez le circuit en prenant garde à la polarisation du condensateur ; où placez-vous sa connexion  $\oplus$  ?
3. Choisissez une fréquence et une tension du générateur AC qui vous paraissent raisonnables ; justifiez votre choix.
4. Câblez votre circuit et mesurez  $U_{ac}$  et  $I_{ac}$  ; calculez  $R_{out}$ .
5. La mesure dépend-elle de la tension du générateur DC ? de la fréquence et/ou de l'amplitude du générateur AC ? Pourquoi ?
6. Vérifiez votre réponse.

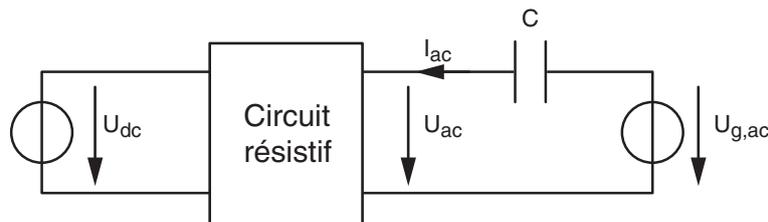


FIG. 2.1: Mesure dynamique d'une résistance de sortie

## 2.6 Analyse des résultats

Portez dans un tableau récapitulatif les quatre valeurs mesurées de la résistance interne avec une estimation de leur précision. Analysez et commentez vos résultats. Laquelle de ces mesures vous paraît-elle la plus fiable ?

**Durée** 1 séance

# 3 Mesures et analyses AC

## Caractéristiques du multimètre HP34401A

$$R_{VM} = 10 \text{ M}\Omega, f_{max} = 100 \text{ kHz}, \quad R_{AM} = 0.1 \Omega, f_{max} = 5 \text{ kHz}$$

**Objectifs** Prévoir et mesurer la réponse fréquentielle d'un quadripôle LC-R.

## 3.1 Préalables

1. Servez vous d'un boîtier correspondant à ce circuit et d'une résistance  $R = 82 \Omega$  que vous placerez entre les bornes prévues à cet effet. Notez le numéro de votre maquette.
2. Avec le multimètre, mesurez la valeur exacte de votre résistance.
3. Les bobines et les condensateurs des maquettes ont été mesurés avec un RLC-mètre. Ces valeurs sont portées dans le tableau 3.1; tirez-en celles correspondant à votre maquette.
4. Relevez la valeur de la résistance interne du générateur de tension et celle de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope.

Maquettes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$L_s$ [mH]	9.96	9.98	9.98	10.0	9.99	9.95	10.06	10.01	9.98	9.99	9.99	10.14
$D_s$ [ $10^{-3}$ ]	15.1	15.0	15.3	15.2	15.4	15.5	11.5	15.2	15.1	15.5	15.0	14.9
$C_p$ [nF]	26.6	22.6	24.9	25.5	25.2	22.6	21.4	26.0	25.6	25.2	24.0	21.4
$D_p$ [ $10^{-3}$ ]	4.8	5.2	5.1	5.0	5.0	5.3	5.3	5.0	5.0	5.1	5.2	5.2

TAB. 3.1: Valeurs des bobines et condensateurs mesurés à  $f_{rlc} = 1 \text{ kHz}$

## 3.2 Prévisions théoriques

1. Dessinez le schéma du circuit LC-R. Rappelez ce qui se passe à la résonance; calculez la pulsation de résonance  $\omega_0$  ainsi que  $f_0$ . Que vaut  $H(j\omega)$  lorsque  $\omega = 0, \omega_0, \infty$ ? De quel type de filtre s'agit-il? Esquissez sa réponse fréquentielle.
2. Calculez littéralement la réponse fréquentielle  $H(j\omega)$  du quadripôle et écrivez-la sous forme canonique.

### 3 Mesures et analyses AC

3. Sachant que la bobine et le condensateur ont été mesurés à la fréquence  $f_{rlc} = 1$  kHz et que les facteurs de pertes série et parallèle sont définis comme suit

$$D_s \equiv \frac{R_s}{X_s} = \frac{R_s}{\omega L}, \quad D_p \equiv \frac{X_p}{R_p} = \frac{1}{\omega C R_p}$$

recherchez et dessinez les modèles de la bobine et du condensateur.

4. Dessinez le circuit électrique complet avec le générateur, la bobine et le condensateur réels et l'oscilloscope. Que valent alors  $H(0)$  et  $H(\infty)$ ? Exprimez-les en dB.
5. Créez un fichier Matlab en suivant le modèle proposé dans la figure 3.1.
6. Observez, analysez et commentez la réponse fréquentielle théorique du filtre.

## 3.3 Mesures

La réalité est parfois plus complexe qu'on ne le pense. Dans ce qui suit, vous verrez apparaître le phénomène de résonance (attendu) et celui d'antirésonance (inattendu) dû à la réalisation de la bobine.

1. Quel est le signal adéquat pour mesurer une réponse fréquentielle? Choisissez son amplitude maximum et la fréquence de 10 kHz. Reliez le générateur à votre circuit. Avec l'oscilloscope, observez les signaux d'entrée et de sortie. Laissez l'oscilloscope branché sur la sortie.
2. À l'aide du voltmètre AC, mesurez les tensions d'entrée et de sortie du quadripôle en choisissant des fréquences qui mettent bien en évidence le comportement du circuit.
3. Créez un fichier `mesures.txt` dans lequel vous porterez sur trois colonnes les valeurs mesurées de la fréquence et des tensions d'entrée et de sortie.
4. Avec Matlab, tracez le Bode d'amplitude mesuré  $H_{mes}(f)$  et observez régulièrement les résultats obtenus afin de vous assurer de la qualité de vos mesures.
5. Veillez à avoir **suffisamment de points** autour des comportements particuliers que sont les passages par un maximum ou un minimum. Complétez vos mesures si nécessaire.

## 3.4 Analyse des résultats

La figure 3.2 présente les deux composants qui se trouvent dans le boîtier, à savoir le condensateur et la bobine dans son pot en ferrite à haute perméabilité magnétique. Observez la réalisation de celle-ci et notez, qu'entre autres choses, une bobine c'est aussi la juxtaposition de fils conducteurs et d'isolant.

1. Analysez la réponse mesurée. S'il n'y a pas concordance entre la mesure et la théorie, essayez de trouver une explication.

```

% calcul et mesure d'un filtre LC-R
clear all; close all; clc;

% composants du boîtier No ...
R = ...;    L = ...;    C = ...;
Ds = ...;   Dp = ...;   w_rlc = 2*pi*1000;
Rs = ...,   Rp = ...

% calcul de la réponse fréquentielle du modèle
w0 = ....;  f0 = ...
num = [0, R*C, 0];
den = [L*C, R*C, 1]; % à quoi servent les variables num et den?
fmod = logspace(2,6,1000); % que fait cette commande?
Hjw = freqs(num, den, 2*pi*fmod);
Hdb_mod = 20*log10(abs(Hjw));
semilogx(fmod, Hdb_mod);
grid on; hold on;

% résultats expérimentaux
mesures = load('mesures.txt');
fmes = mesures(:,1);
U1 = mesures(:,2);
U2 = mesures(:,3);
Hmes = U2 ./ U1;
Hdb_mes = 20*log10(Hmes);
semilogx(fmes, Hdb_mes, 'ro');

% informations sur le graphe
title('...');
xlabel('...'); ylabel('...');

```

FIG. 3.1: Modèle de fichier Matlab

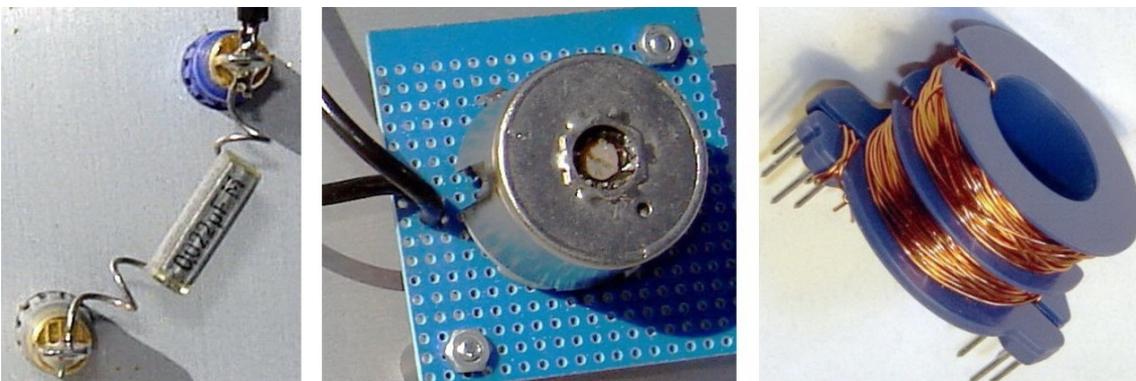


FIG. 3.2: Contenu de la maquette LC-R : a) le condensateur au polystyrène, b) la bobine à noyau ajustable dans son pot en ferrite et son blindage, c) la bobine seule.

### 3 Mesures et analyses AC

2. Proposez un modèle plus complet de la bobine et vérifiez vos hypothèses avec une simulation Spice.
3. Établissez un tableau comparatif des résultats obtenus avec une estimation de leur précision.
4. Commentez et concluez.

**Durée** 1 séance

# 4 Mesure et modélisation d'une diode

**Objectifs** Apprendre à modéliser une diode

## 4.1 Relevé de la caractéristique d'une diode

Dans cette manipulation, vous mesurerez la caractéristique  $I_D(U_D)$  d'une diode puis la représenterez par des modèles linéaires et exponentiel. Pour bien comprendre les informations concernant les mesures à faire et les graphes à tracer, commencez par lire attentivement les paragraphes 4.2.1 et 4.2.2.

### 4.1.1 Préalables

1. Dessinez le schéma d'un circuit série comprenant un générateur de tension  $U_{dc}$ , une résistance  $R$  et une diode  $D = 1N4148$ .
2. Choisissez l'emplacement des instruments de mesure vous permettant de mesurer la caractéristique de la diode ; justifiez votre choix.
3. Choisissez une résistance  $R$  de 0.25 [W] pouvant supporter un courant de 100 [mA].

### 4.1.2 Mesures

Câblez votre circuit sur une plaque de montage et modifiez la valeur de la tension  $U_{dc}$  de manière à pouvoir varier le courant  $I_D$  entre 10 [ $\mu$ A] et 100 [mA]. Puis :

1. Relevez la tension  $U_D$  aux bornes de la diode pour au moins 4 valeurs de  $I_D$  par décade (par exemple : 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, ...).
2. Relevez la valeur de la résistance interne du voltmètre puis, pour les deux points extrêmes de vos mesures, calculez le courant consommé par le voltmètre et évaluez l'imprécision ainsi causée sur la mesure de  $I_D$ .

### 4.1.3 Graphes

Portez vos mesures dans un fichier Matlab, puis :

## 4 Mesure et modélisation d'une diode

1. Ouvrez une fenêtre graphique (`figure`) et deux graphes verticaux (`subplot(1,2,k)`).
  - a) sur le premier graphe, portez les points mesurés (pas de courbe continue) avec les échelles  $0 \dots 1\text{V}$  et  $0 \dots 11\text{mA}$  ;
  - b) sur le deuxième graphe, portez les points mesurés (pas de courbe continue) avec les échelles  $0 \dots 1\text{V}$  et  $0 \dots 110\text{mA}$ .
2. Sur une nouvelle figure, portez les points mesurés (pas de courbe continue) dans un graphe semi-logarithmique (`semilogy`).
3. Sur chacun des trois graphes, n'oubliez pas d'y mettre un titre, des informations sur les axes et une grille.

## 4.2 Modélisation d'une diode

### 4.2.1 Modèle linéaire

Une diode est un élément électronique dont le fonctionnement est décrit par une loi exponentielle (voir la section 4.2.2). Cependant, pour la plupart des applications, un modèle plus simple, mais suffisant pour permettre une bonne estimation des courants et tensions, est souhaité ; il s'agit du modèle linéaire statique.

La démarche pour l'obtenir est la suivante :

1. Sur chacun des deux graphes à échelles linéaires, tracez à l'aide d'une règle une droite "tangente" aux points mesurés et située en  $I_D = 5 \text{ mA}$  et  $50 \text{ mA}$ .
2. Tirez-en deux modèles linéaires de la diode caractérisés par la tension de jonction  $V_j$  et la résistance dynamique  $r_d = \Delta U_D / \Delta I_D$  .

### 4.2.2 Modèle physique

Une diode est un élément électronique dont le fonctionnement direct ou inverse est décrit par l'équation suivante :

$$I_D = I_s \left( e^{U_D/nV_T} - 1 \right) \quad (4.1)$$

avec :

$I_D$	courant traversant la diode
$U_D$	tension mesurée aux bornes de la diode
$I_s$	courant de saturation inverse
$n$	facteur technologique compris entre 1 et 2 (diode Si)
$V_T$	$= kT/q =$ potentiel thermique $\simeq 26 \text{ mV}$ si $T = 300 \text{ [K]}$
$T$	température en [K]
$k$	constante de Boltzman
$q$	charge de l'électron

Lorsque la diode est suffisamment conductrice ( $U_D \geq 0.2[V]$ ), cette loi s'écrit plus simplement :

$$I_D = I_s e^{U_D/nV_T} \quad (4.2)$$

On dit alors que le courant augmente exponentiellement avec la tension appliquée à la diode ou, de manière équivalente, que la tension aux bornes de la diode croît comme le logarithme du courant :

$$U_D = n V_T \ln \left( \frac{I_D}{I_s} \right) = 2.3 n V_T \log \left( \frac{I_D}{I_s} \right) \quad (4.3)$$

Cette loi, valable pour des courants pas trop élevés, fait que, dans un diagramme semi-logarithmique, le graphe  $\log I_D = f(U_D)$  est une droite de pente

$$p \equiv \frac{\Delta \log(I_D/I_s)}{\Delta U_D} = \frac{\log(I_{D,2}) - \log(I_{D,1})}{U_{D,2} - U_{D,1}} = \frac{1}{2.3 n V_T} \quad (4.4)$$

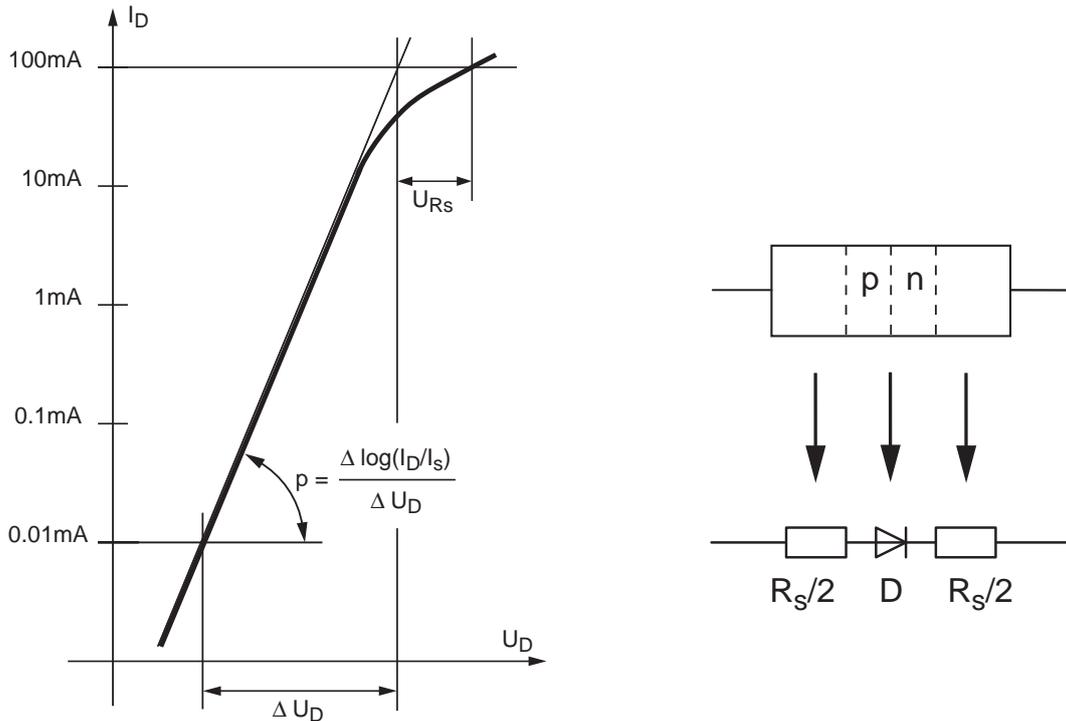


FIG. 4.1: Caractéristique et modèle d'une diode avec sa résistance série

Cependant, lorsque le courant traversant une diode réelle est élevé, on doit encore tenir compte d'une chute de tension ohmique due à la résistance de liaison entre la diode idéale et les fils de connexion (figure 4.1). La chute de tension mesurée aux bornes d'une diode réelle est alors décrite par :

$$U_D = n V_T \ln \left( \frac{I_D}{I_s} \right) + R_s I_D \quad (4.5)$$

#### 4 Mesure et modélisation d'une diode

De l'équation (4.2), on peut montrer que la résistance différentielle au point de fonctionnement de la diode vaut

$$r_d = \frac{dU_D}{dI_D} = \frac{nV_T}{I_D} \quad (4.6)$$

Partant des points mesurés et portés sur le graphe semi-logarithmique :

1. Tracez à la main une asymptote valable pour les faibles courants.
2. À partir de la pente de l'asymptote et de l'équation 4.4, calculez le facteur technologique  $n$ .
3. À partir d'un point de **l'asymptote** (pourquoi ?) et de l'équation 4.2, calculez le courant de saturation inverse  $I_s$ .
4. Pour le courant maximum mesuré, que valent  $U_D$  et  $U_{R_s}$  ? Tirez-en la valeur de  $R_s$ .
5. Calculez et tracez la courbe du modèle trouvé à l'aide d'un courant  $I_{mod}$  variant de manière continue entre 10 [ $\mu$ A] et 100 [mA] :

```
Imin = 10e-6 ; Imax = 100e-3 ; % [I] = [A]
Imod = logspace(log10(Imin), log10(Imax), 200) ;
Umod = n*Vt*log(Imod/Is) + Rs*Imod ;
semilogy(Ud, Id, 'o', Umod, Imod) ; % [I] = [A]
```

6. Portez sur le graphe les valeurs des paramètres  $I_s$ ,  $n$ ,  $R_s$ .

#### 4.2.3 Analyse des résultats

1. Comparez et commentez la courbe du modèle par rapport aux points mesurés.
2. Rappelez les paramètres  $I_s$ ,  $n$ ,  $R_s$  de votre modèle exponentiel puis comparez-les à ceux proposés par Spice/Orcad pour la diode 1N4148

$$I_s = 2.68\text{nA}, \quad n = 1.84, \quad R_s = 0.57\ \Omega$$

3. Rappelez les paramètres  $V_j$  et  $r_d$  trouvés pour les deux modèles linéaires. Calculez les valeurs théoriques de  $r_d$  pour les courants moyens  $I_D = 5$  et 50 mA. Comparez et commentez
4. Concluez.

**Durée** 1 séance

# 5 Circuits à transistors bipolaires

**Objectifs** Calculer, simuler et mesurer le comportement d'un circuit de base et d'une source de courant.

## 5.1 Caractéristiques du transistor

Sur les *tableaux et graphes des caractéristiques* du transistor PN100A que l'on peut trouver sur le web ou dans les documents complémentaires du laboratoire, relevez les valeurs suivantes :

- le gain en courant du transistor  $\beta$  (*DC Current Gain*) pour  $I_C = 0.1\text{mA}$  et  $10\text{mA}$  ;
- la tension  $U_{BE}$  (*Base Emitter ON Voltage*) pour  $I_C = 1\text{mA}$  et  $10\text{mA}$  ;
- pour quelle valeur de  $U_{CE}$  sont données ces deux informations ?
- la tension de saturation  $U_{CE,sat}$  (*Collector Emitter Saturation Voltage*) pour  $I_C = 1\text{mA}$  et  $10\text{mA}$  (pour quelle valeur de  $\beta$ ?) ;
- la puissance  $P_{max}$  que peut dissiper le transistor.

Analysez et commentez ces valeurs par rapport à celles utilisées dans le modèle linéaire.

## 5.2 Circuit de base

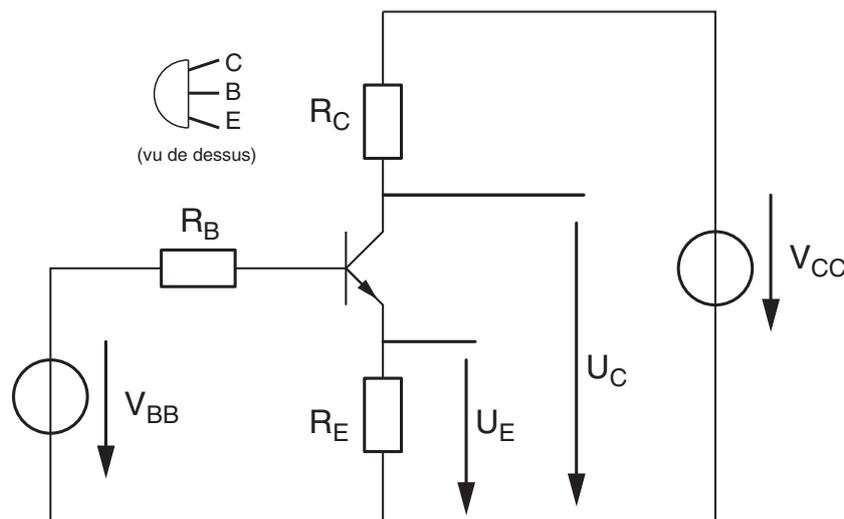


FIG. 5.1: Circuit de base

### 5.2.1 Étude théorique

Pour les composants de la figure 5.1, on prendra  $V_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $R_E = 0.82\text{ k}\Omega$ ,  $R_B = 8.2\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 6.2\text{ k}\Omega$ .

1. Considérant les valeurs des composants et  $V_{BB} = 1.5\text{ V}$ , calculez :
  - a) le point de fonctionnement :
    - i. les courants  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$  ;
    - ii. les tensions  $U_B$ ,  $U_E$ ,  $U_C$  ;
    - iii. la puissance  $P$  dissipée par le transistor ;
  - b) le point de saturation :
    - i. le courant de saturation  $I_{C,sat}$  et la tension  $V_{BB,sat}$  ;
    - ii. les tensions  $U_B$ ,  $U_E$ ,  $U_C$  au point de saturation.
2. Considérant que l'on varie  $V_{BB}$  :
  - a) dessinez les caractéristiques de transfert  $U_E(V_{BB})$  et  $U_C(V_{BB})$  ;
  - b) calculez littéralement leurs pentes ; que signifient-elles ?

### 5.2.2 Simulation

1. Avec Spice, après avoir choisi un transistor *PN100A* ou *BCW60B*, simulez le circuit de la figure 5.1 en variant  $V_{BB}$  de 0 à 5 V avec un pas de 0.05 V.
2. Sur une même figure et trois graphes distincts, tracez les courants  $I_C(V_{BB})$ ,  $I_B(V_{BB})$  ainsi que le gain en courant  $\beta = I_C/I_B$ . Avec le curseur, mesurez  $I_C$ ,  $I_B$  et  $\beta$  lorsque  $V_{BB} = 1.5\text{ V}$  et  $3.0\text{ V}$ . Délimitez à la main les trois domaines de fonctionnement du transistor. Observez et commentez.
3. Sur une deuxième figure, tracez sur un même graphe les caractéristiques de transfert  $U_B(V_{BB})$ ,  $U_E(V_{BB})$  et  $U_C(V_{BB})$ . Avec le curseur, mesurez les tensions  $U_{BE}$  et  $U_{CE}$  lorsque  $V_{BB} = 1.5\text{ V}$  et  $3\text{ V}$ . Ajoutez à la main les segments correspondant aux valeurs théoriques calculées plus haut. Observez et commentez.

### 5.2.3 Mesures

1. Câblez le circuit de la figure 5.1 avec  $V_{CC} = 12\text{ V}$  (alimentation DC programmable) et  $V_{BB} = 1.5\text{ V}$  (générateur de signaux Siemens en position DC offset).
2. Mesurez avec soin (4 chiffres significatifs) les tensions  $V_{CC}$ ,  $V_{BB}$ ,  $U_B$ ,  $U_E$  et  $U_C$  ; de ces valeurs, déduisez  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$  et  $\beta$ . Comparez ces mesures aux résultats théoriques.
3. Tout en variant  $V_{BB}$  entre 0 et 3 V (une quinzaine de points judicieusement choisis suffisent), mesurez avec soin (4 chiffres significatifs) les tensions  $V_{BB}$ ,  $U_B$ ,  $U_E$  et  $U_C$ . Portez ces valeurs sur quatre colonnes directement dans un fichier `mesure_tensions.txt`.

4. Dans Matlab,

- a) chargez vos mesures avec les commandes  

```
mesures = load('mesure_tensions.txt');
VBB = mesures(:,1); UB = mesures(:,2);
UE = mesures(:,3); UC = mesures(:,4);
```
- b) Tracez vos mesures dans un même graphe (sans relier les points entre eux). Sur cette figure, tracez à la main les caractéristiques théoriques.
- c) Des valeurs des tensions, déduisez les courants  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ; calculez le gain  $\beta$ . Sur une nouvelle figure, tracez les trois graphes (`subplot(3,1,k)`)  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $\beta$  en fonction de  $V_{BB}$ .

### 5.2.4 Analyse des résultats

1. Comparez les résultats de mesure avec ceux de la simulation. En particulier, que valent  $\beta$  et  $U_{CE}$  lorsque  $V_{BB} = 3V$ ?
2. Analysez et commentez l'ensemble des résultats. Remplissez le tableau comparatif ci-dessous et concluez.

	Modèle linéaire	Spice	Mesures	Fabricant
	transistor actif : $V_{BB} = 1.5V$ , $I_C =$			
$\beta$				
$U_{BE}$				
$U_{CE}$				
	transistor saturé : $V_{BB} = 3.0V$ , $I_C =$			
$\beta$				
$U_{BE}$				
$U_{CE}$				

## 5.3 Source de courant

Le circuit de base de la figure 5.1 peut être utilisé en tant qu'amplificateur ou source de courant. Dans cette manipulation, on s'intéresse aux caractéristiques de la source de courant avec  $V_{BB} = 1.5V$  et  $R_C$  variable. Cette dernière représente la charge  $R_L$  que voit la source de courant.

### 5.3.1 Étude théorique

1. Dessinez le schéma de la source de courant et sa représentation "petits signaux". Ecrivez les équations vous permettant de calculer la résistance de sortie  $R_{out}$  vue depuis la charge  $R_C = R_L$ .
2. Admettant  $\beta = 250$  et  $V_A = 100V$ , calculez  $I_0$  et la résistance de sortie de cette source de courant. Tracez sa caractéristique  $I_C(R_C)$ ; en particulier, que vaudra  $I_C$  lorsque  $R_C = 10k\Omega$ ?

## 5 Circuits à transistors bipolaires

3. Pour quelle valeur de  $R_C$  le transistor saturera-t-il ? Comment évoluera le courant  $I_C$  lorsque  $R_C$  sera supérieur à  $R_{C,sat}$  ? Sur le graphe précédent, esquissez à la main  $I_C(R_C)$  pour  $R_C > R_{C,sat}$ .
4. Si vous avez le temps, calculez et analysez la caractéristique  $I_C(U_{RC})$  pour les parties active et saturée du fonctionnement du transistor. Vous découvrirez alors que cette caractéristique est constituée de deux segments de droite représentant chacune une source linéaire de tension ou de courant dont vous donnerez les paramètres.

### 5.3.2 Simulation

1. Dans Spice, dessinez votre circuit en notant que la valeur `{Rvar}` de la résistance variable  $R_C$  doit être définie à l'aide de la fonction `Parameters`.
2. Utilisez `DCsweep` pour varier `Rvar` entre  $1\Omega$  et  $30k\Omega$  par incrément de  $100\Omega$ . Lancez la simulation et tracez  $I_C$  en fonction de  $U_{RC}$ . À l'aide du curseur, marquez  $I_C(U_{RC} = 0V)$  et  $I_C(U_{RC} = 10V)$ .
3. Mesurez la pente de la partie linéaire et tirez-en la résistance de sortie. Comparez avec la résistance de sortie théorique et estimez la valeur de  $V_A$  utilisée par le modèle Spice.

### 5.3.3 Mesures

1. Câblez votre circuit avec  $V_{BB} \simeq 1.5V$  et une résistance variable de  $22k\Omega$  environ pour  $R_C$ .
2. Lorsque  $R_C = 0$ , mesurez avec soin (4 chiffres significatifs) le courant de collecteur  $I_C$ , les tensions  $V_{BB}$  et  $U_{RB}$ . Tirez-en le courant  $I_B$  et le gain  $\beta$ .
3. Tout en variant la résistance de collecteur, mesurez avec soin (4 chiffres significatifs) le courant de collecteur  $I_C$  et la tension  $U_{RC}$  par pas d'environ  $0.5V$  (relevez au moins une quinzaine de points). Portez ces résultats sur deux colonnes directement dans un fichier `mesure_courant.txt`

### 5.3.4 Mise en valeur des résultats

Dans Matlab, chargez vos mesures avec les commandes

```
mesures = load('mesure_courant.txt');  
IC = mesures(:,1); URC = mesures(:,2);
```

puis :

1. Tracez vos mesures  $I_C(U_{RC})$  dans un premier graphe (`subplot(2,1,1)`).
2. Avec `Ilin = IC(1:end-...)`, `Ulin = URC(1:end-...)`, extrayez les points représentant la partie linéaire de la caractéristique mesurée ; utilisez `polyfit` pour calculer l'équation de la droite passant au mieux par ces points.

3. Avec `polyval`, calculez puis tracez la droite de régression linéaire dans un deuxième graphe (`subplot(2,1,2)`) ainsi que les points de la partie linéaire seulement.

### 5.3.5 Analyse des résultats

1. Quelle est l'équation de la droite obtenue avec `polyfit`? Tirez-en le modèle du générateur équivalent à votre circuit, à savoir sa résistance interne et son courant de court-circuit.
2. Que valent les générateurs équivalents de Norton et de Thévenin? Concluez.
3. Partant de  $R_{out}$ , calculez les valeurs de  $V_A$  du modèle Spice et celle de votre transistor en prenant en compte les différentes valeurs de  $\beta$  et  $I_C$ ; puis remplissez le tableau ci-dessous.

	$\beta$	$I_0$	$R_{out}$	$R_{C,sat}$	$V_A$
Théorie					
Simulation					
Mesure					

4. Comparez, analysez, commentez et concluez.

**Durée** 2 séances

## 5 *Circuits à transistors bipolaires*

# 6 Amplificateur inverseur

## Objectifs

Se familiariser avec l'amplificateur opérationnel et apprendre à être critique par rapport aux modèles

### 6.1 Câblage et alimentation d'un AO

La figure 6.1 montre comment on met en place un amplificateur opérationnel sur une plaque de montage et indique la numérotation des broches du circuit.

Lors de l'utilisation d'un AO, il faut éviter que cet amplificateur à haut gain ne se transforme en un oscillateur. Pour ce faire, la précaution la plus élémentaire consiste à diminuer l'impédance des alimentations à l'aide de condensateurs de découplage (par exemple, des condensateurs céramique de 100nF) placés très près de l'AO.

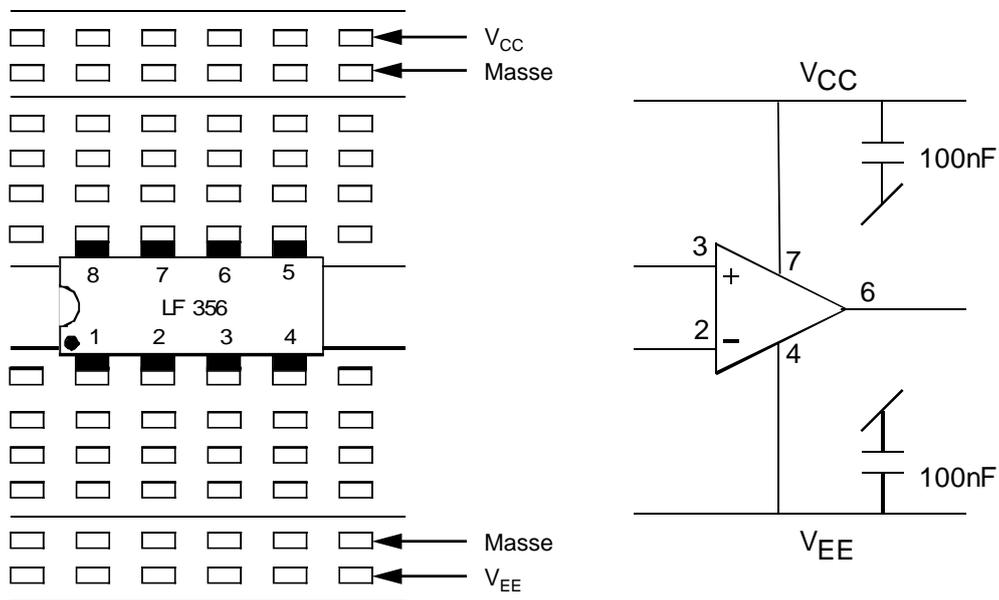


FIG. 6.1: Câblage et alimentation d'un AO

### 6.2 Caractéristiques du LF 356

1. Sachant que l'AO sera alimenté avec  $V_{CC} = +12V$  et  $V_{EE} = -12V$ , quelles tensions de saturation pensez-vous obtenir ?

## 6 Amplificateur inverseur

2. Des spécifications de l'amplificateur opérationnel LF356 fournies par le constructeur, tirez les valeurs moyennes du gain  $A_0$ , de la fréquence de transition  $f_T = GBW$ , de la variation limite  $SR$ , du taux de réjection du mode commun CMRR. Quelles sont les valeurs maximums de la tension de décalage  $U_{os}$  et des courants de polarisation  $I_B$  à  $25^0C$  ?
3. Tenant compte de ces valeurs, quel est le modèle linéaire théorique  $A_{ao,th}(jf)$  d'ordre 1 représentant au mieux l'amplificateur opérationnel LF356 ?

## 6.3 Amplificateur inverseur

### 6.3.1 Analyse

Considérant un amplificateur inverseur de gain  $-10$  (rappelez son schéma) et tenant compte des valeurs moyennes fournies par le constructeur (section 6.2), on demande :

1. Calculez la réponse fréquentielle  $A_{inv,th}(jf)$  de l'amplificateur inverseur.
2. Que valent sa bande passante théorique  $f_{inv,th}$  et sa constante de temps ?
3. Donnez l'expression de sa réponse  $u_{2,th}(t)$  à un signal carré d'amplitude  $\pm A$ .
4. Esquissez cette réponse temporelle ; que vaut sa pente à l'origine ?
5. Commentez ces pentes par rapport au SR lorsque le signal d'entrée vaut 0.1 V ou 1 V.

### 6.3.2 Simulation

Dans Spice, dessinez votre circuit (sans les capacités de découplage) avec un générateur de type `Vpulse`. Placez les étiquettes de ligne `in`, `in-` et `out`. Dans Probe, tracez entre 1 Hz et 10 MHz :

1. la réponse fréquentielle de l'AO avec `db(V(out)/V(in-))` ;
2. la réponse fréquentielle de l'amplificateur inverseur avec `db(V(out)/V(in))` ;

### Réponse fréquentielle de l'AO seul

1. Sur la réponse fréquentielle de l'AO, mesurez  $A_0$ ,  $f_{ao}$  et  $f_T$ .
2. Connaissant  $A_0$  et  $f_{ao}$ , que devrait valoir  $f_T$  ? Commentez.
3. Quel est le modèle Spice  $A_{ao,sim}(jf)$  d'ordre 1 de l'AO seul.
4. Quelles différences observez-vous par rapport au modèle théorique ? Commentez.

### Réponse fréquentielle de l'amplificateur inverseur

1. Sur la réponse fréquentielle de l'amplificateur inverseur, mesurez sa bande passante et son gain.
2. Calculez le modèle correspondant  $A_{inv,sim}(jf)$ .
3. Comparez avec  $A_{inv,th}(jf)$  et commentez.

### Réponse temporelle de l'amplificateur inverseur

1. Tracez les réponses temporelles simulée et théorique ( $u_{2,th}(t)$ ) à un signal carré d'amplitude  $\pm A$  lorsque  $U_{out,max} = 1 V$ . Mesurez son temps caractéristique.
2. Que vaut la tension de décalage sur  $U_{out}$ ? Calculez la valeur de  $U_{os}$  du modèle Spice.
3. Idem 1, lorsque  $U_{out,max} = 10 V$ .
4. Observez les différences et commentez.

Si, en cours de simulation, Spice annonce des problèmes de convergence, placez une capacité de 0.1pF en parallèle avec la résistance de réaction.

### 6.3.3 Mesures

Câblez un amplificateur de gain  $-10$ , puis effectuez les mesures qui suivent.

1. Choisissez un signal (forme et amplitude) vous permettant de bien mesurer le SR de l'AO. Que vaut-il et quelle est sa particularité?
2. Après avoir ramené l'amplitude de la tension de sortie à environ 1 V, mesurez la constante de temps de votre amplificateur; quel signal utilisez-vous?
3. Pour mesurer la réponse fréquentielle de votre amplificateur, quel signal (forme et amplitude) utilisez-vous?
4. Mesurez quelques points de la réponse fréquentielle à l'aide de l'oscilloscope. Mesurez exactement sa fréquence de coupure. Portez ces points sur le diagramme de Bode tracé avec Spice.
5. Quelle est la bande passante de votre amplificateur?
6. Observez les effets du SR sur un signal sinusoïdal. À partir de quelle fréquence estimez-vous que la sinusoïde est déformée? Comparez à la valeur théorique.

Pour l'ensemble des mesures, observez et commentez les signaux intéressants.

### 6.3.4 Analyse des résultats

Créez un tableau comparatif mettant en évidence les résultats théoriques, simulés et expérimentaux. Puis analysez, comparez et critiquez vos résultats.

**Durée** 2 séances

## 6 Amplificateur inverseur

# 7 Quelques informations techniques

Dans les pages qui suivent, vous trouverez des informations intéressantes par rapport au laboratoire et à l'électronique en général.

## 7.1 Fiches techniques

Les fiches techniques des composants semiconducteurs utilisés dans ce laboratoire : la diode 1N4148, le transistor PN100 et l'amplificateur opérationnel LF356.

## 7.2 Caractéristiques des condensateurs

Une page extraite de la revue Analog Dialog 30-2 de la société Analog Devices présente les caractéristiques de la plupart des condensateurs utilisés au laboratoire.



# 1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448



DO-35



LL-34

THE PLACEMENT OF THE EXPANSION GAP HAS NO RELATIONSHIP TO THE LOCATION OF THE CATHODE TERMINAL

### COLOR BAND MARKING

DEVICE	1ST BAND	2ND BAND
FDLL914	BLACK	BROWN
FDLL914A	BLACK	GRAY
FDLL914B	BROWN	BLACK
FDLL916	BLACK	RED
FDLL916A	BLACK	WHITE
FDLL916B	BROWN	BROWN
FDLL4148	BLACK	BROWN
FDLL4448	BROWN	BLACK

## Small Signal Diode

### Absolute Maximum Ratings\*

T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>RRM</sub>	Maximum Repetitive Reverse Voltage	100	V
I <sub>F(AV)</sub>	Average Rectified Forward Current	200	mA
I <sub>FSM</sub>	Non-repetitive Peak Forward Surge Current	1.0	A
	Pulse Width = 1.0 second	4.0	A
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range	-65 to +200	°C
T <sub>J</sub>	Operating Junction Temperature	175	°C

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 200 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

## Thermal Characteristics

Symbol	Characteristic	Max	Units
		1N/FDLL 914/A/B / 4148 / 4448	
P <sub>D</sub>	Power Dissipation	500	mW
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	300	°C/W

1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448

# Small Signal Diode

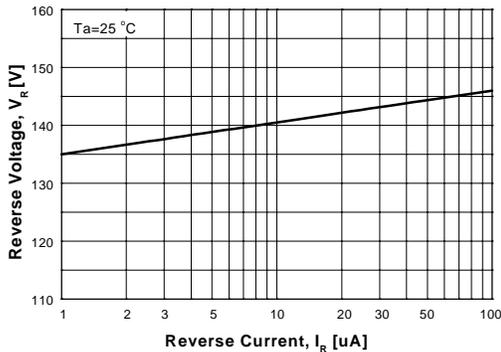
(continued)

## Electrical Characteristics T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted

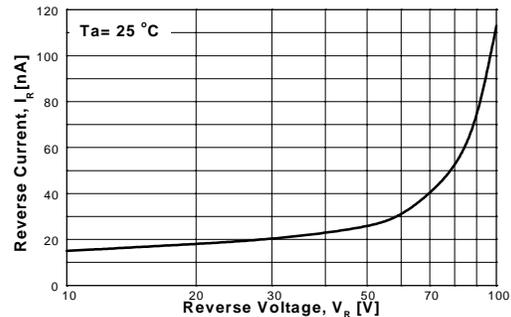
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units	
V <sub>R</sub>	Breakdown Voltage	I <sub>R</sub> = 100 μA I <sub>R</sub> = 5.0 μA	100 75		V V	
V <sub>F</sub>	Forward Voltage	1N914B/4448 1N916B 1N914/916/4148 1N914A/916A 1N916B 1N914B/4448	I <sub>F</sub> = 5.0 mA I <sub>F</sub> = 5.0 mA I <sub>F</sub> = 10 mA I <sub>F</sub> = 20 mA I <sub>F</sub> = 20 mA I <sub>F</sub> = 100 mA	620 720 730 1.0 1.0 1.0 1.0	mV mV V V V V	
I <sub>R</sub>	Reverse Current	V <sub>R</sub> = 20 V V <sub>R</sub> = 20 V, T <sub>A</sub> = 150°C V <sub>R</sub> = 75 V		25 50 5.0	nA μA μA	
C <sub>T</sub>	Total Capacitance	1N916A/B/4448 1N914A/B/4148	V <sub>R</sub> = 0, f = 1.0 MHz V <sub>R</sub> = 0, f = 1.0 MHz		2.0 4.0	pF pF
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	I <sub>F</sub> = 10 mA, V <sub>R</sub> = 6.0 V (60mA), I <sub>rr</sub> = 1.0 mA, R <sub>L</sub> = 100Ω		4.0	ns	

1N/FD/L 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448

## Typical Characteristics

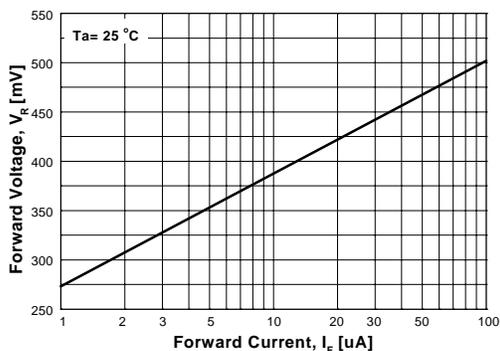


**Figure 1. Reverse Voltage vs Reverse Current**  
BV - 1.0 to 100 uA

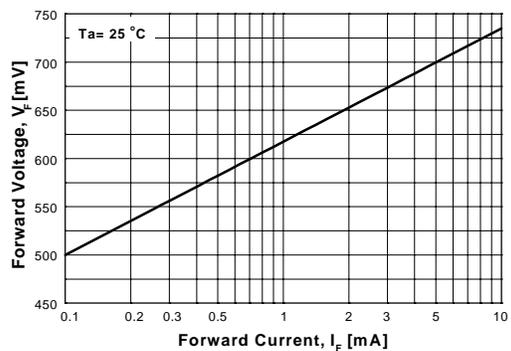


**Figure 2. Reverse Current vs Reverse Voltage**  
IR - 10 to 100 V

GENERAL RULE: The Reverse Current of a diode will approximately double for every ten (10) Degree C increase in Temperature



**Figure 3. Forward Voltage vs Forward Current**  
VF - 1 to 100 uA



**Figure 4. Forward Voltage vs Forward Current**  
VF - 0.1 to 10 mA

Typical Characteristics (continued)

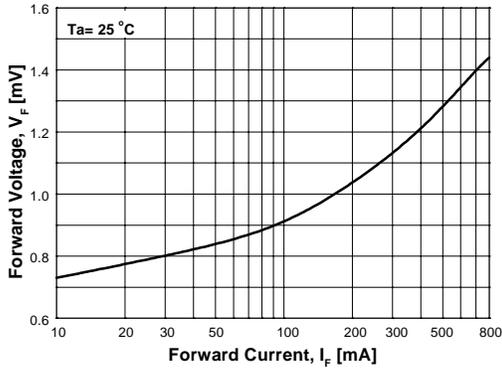


Figure 5. Forward Voltage vs Forward Current  
VF - 10 to 800 mA

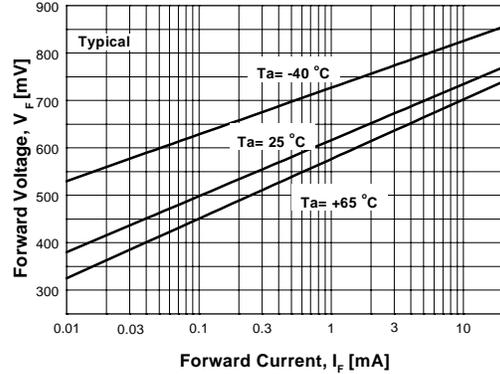


Figure 6. Forward Voltage  
vs Ambient Temperature  
VF - 0.01 - 20 mA (-40 to +65 Deg C)

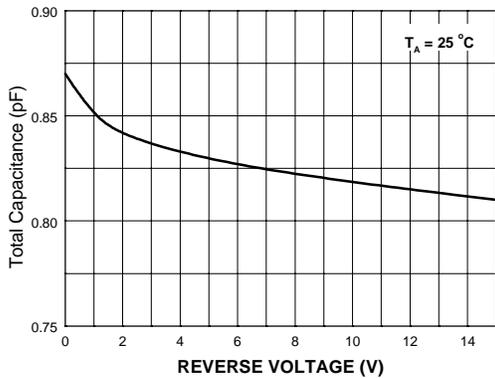


Figure 7. Total Capacitance

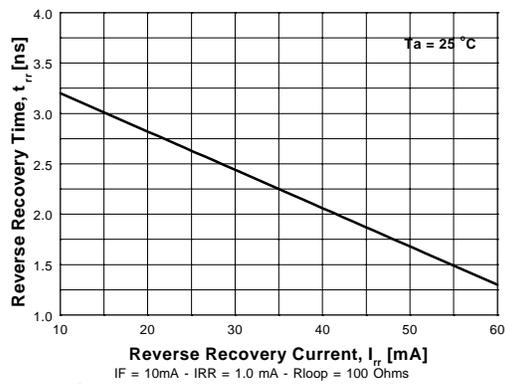


Figure 8. Reverse Recovery Time vs  
Reverse Recovery Current

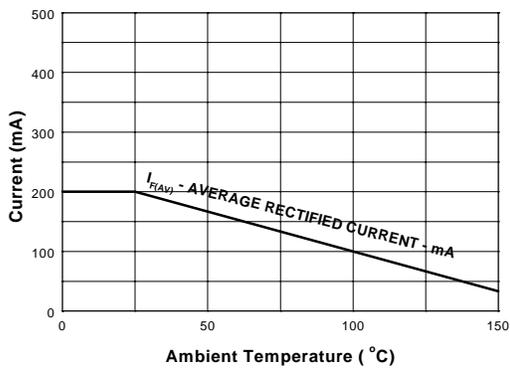


Figure 9. Average Rectified Current ( $I_{F(AV)}$ )  
versus Ambient Temperature ( $T_A$ )

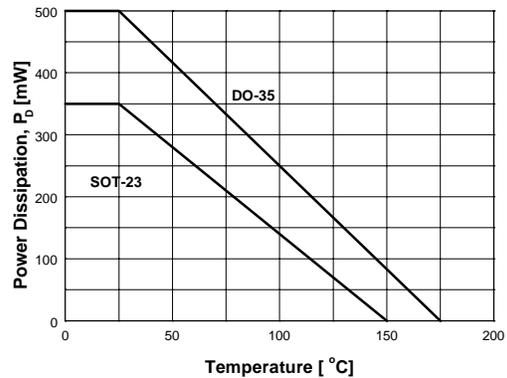


Figure 10. Power Derating Curve

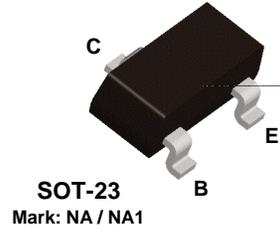
# N

**Discrete POWER & Signal  
Technologies**

PN100 / MMBT100 / PN100A / MMBT100A

**PN100  
PN100A**

**MMBT100  
MMBT100A**



## NPN General Purpose Amplifier

This device is designed for general purpose amplifier applications at collector currents to 300 mA. Sourced from Process 10.

### Absolute Maximum Ratings\*

TA=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage	75	V
V <sub>CBO</sub>	Collector-Base Voltage	45	V
V <sub>EBO</sub>	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I <sub>C</sub>	Collector Current - Continuous	500	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

### Thermal Characteristics

TA= 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		PN100A	*MMBT100A	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation	625	350	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	°C/W

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

## Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{CB0}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \mu A, I_B = 0$	75		V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage*	$I_C = 1 mA, I_E = 0$	45		V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu A, I_C = 0$	6.0		V
$I_{CBO}$	Collector Cutoff Current	$V_{CB} = 60 V$		50	nA
$I_{CES}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 40 V$		50	nA
$I_{EBO}$	Emitter Cutoff Current	$V_{EB} = 4 V$		50	nA

## ON CHARACTERISTICS

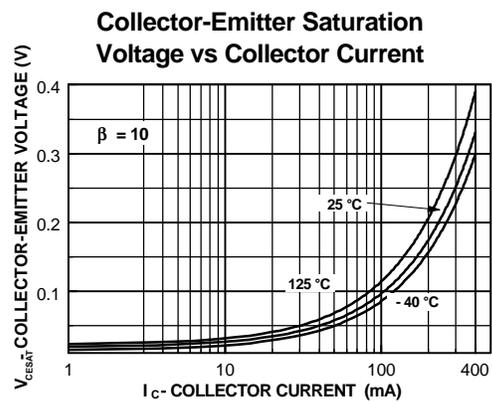
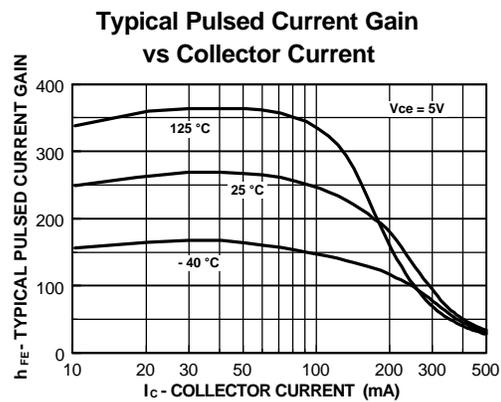
$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 100 \mu A, V_{CE} = 1.0 V$	<b>100</b>	80		
			<b>100A</b>	240		
		$I_C = 10 mA, V_{CE} = 1.0 V$	<b>100</b>	100	450	
			<b>100A</b>	300	600	
			<b>100</b>	100		
		$I_C = 150 mA, V_{CE} = 5.0 V^*$	<b>100</b>	100	350	
			<b>100A</b>	100		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 mA, I_B = 1.0 mA$		0.2	V	
		$I_C = 200 mA, I_B = 20 mA^*$		0.4	V	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 mA, I_B = 1.0 mA$		0.85	V	
		$I_C = 200 mA, I_B = 20 mA^*$		1.0	V	

## SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$V_{CE} = 20 V, I_C = 20 mA$	250		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 V, f = 1.0 MHz$		4.5	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100 \mu A, V_{CE} = 5.0 V,$ $R_G = 2.0 k\Omega, f = 1.0 kHz$	<b>100</b>	5.0	dB
			<b>100A</b>	4.0	dB

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu s$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

## Typical Characteristics



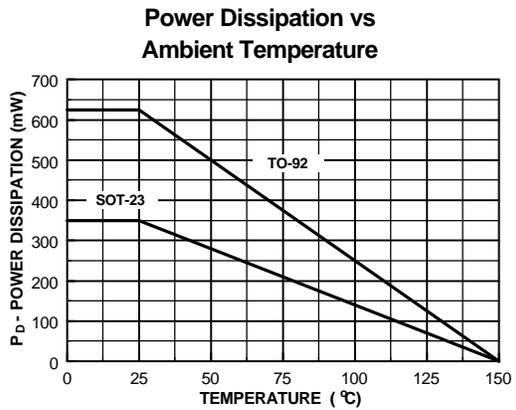
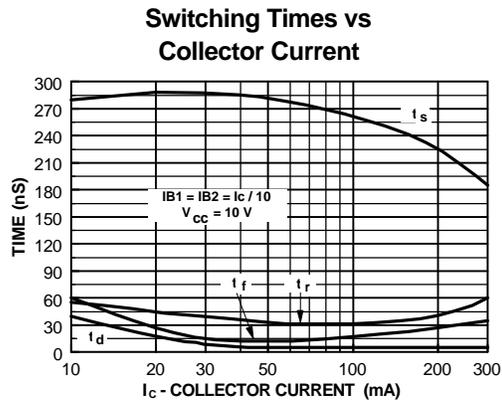
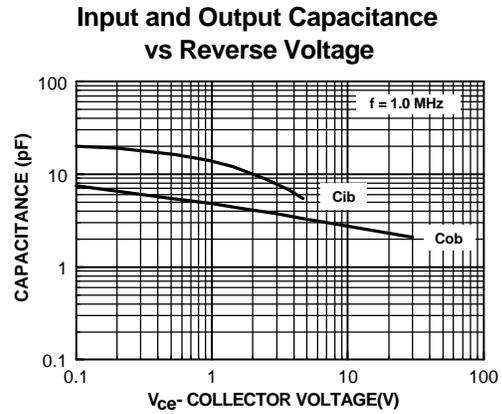
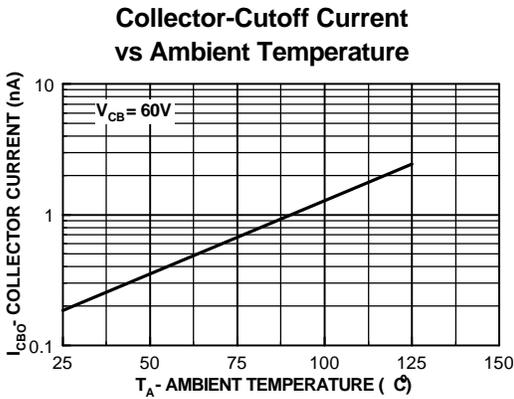
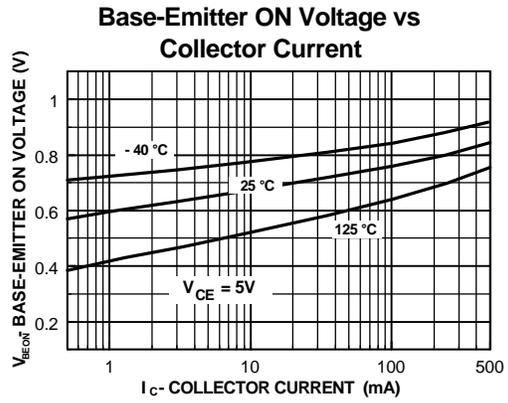
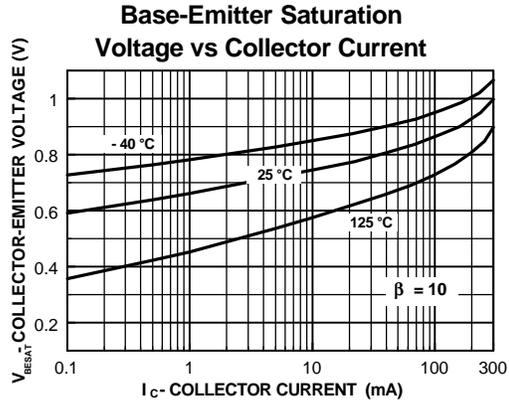
PN100 / MMBT100 / PN100A / MMBT100A

# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

PN100 / MMBT100 / PN100A / MMBT100A

## Typical Characteristics (continued)



# LF155/LF156/LF256/LF257/LF355/LF356/LF357

## JFET Input Operational Amplifiers

### General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

### Features

#### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

### Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers

- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

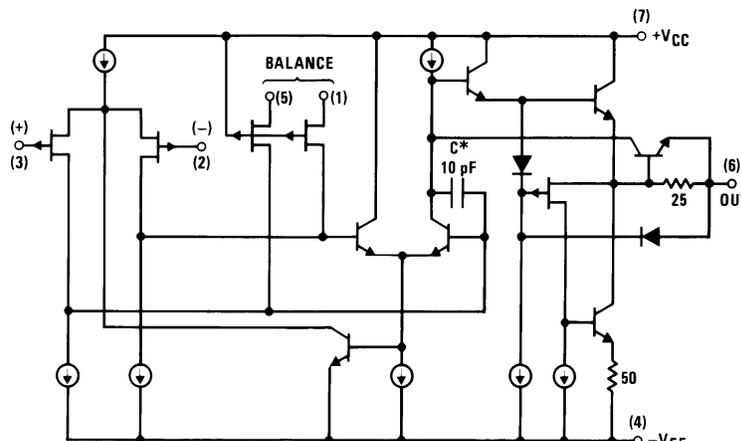
#### Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low input noise current:  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

### Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF256/ LF356	LF257/ LF357 ( $A_V=5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

### Simplified Schematic



\*3pF in LF357 series.

00564601

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LF155/6	LF256/7/LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
$T_{JMAX}$			
H-Package	150°C	115°C	115°C
N-Package		100°C	100°C
M-Package		100°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1, 8)			
H-Package (Still Air)	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package		670 mW	670 mW
M-Package		380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) $\theta_{JA}$			
H-Package (Still Air)	160°C/W	160°C/W	160°C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65°C/W	65°C/W	65°C/W
N-Package		130°C/W	130°C/W
M-Package		195°C/W	195°C/W
(Typical) $\theta_{JC}$			
H-Package	23°C/W	23°C/W	23°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Information (Lead Temp.)			
Metal Can Package			
Soldering (10 sec.)	300°C	300°C	300°C
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 sec.)	260°C	260°C	260°C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 sec.)		215°C	215°C
Infrared (15 sec.)		220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD tolerance			
(100 pF discharged through 1.5k $\Omega$ )	1000V	1000V	1000V

## DC Electrical Characteristics

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF256/7 LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$ , $T_A=25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5		3	5		3	10	mV
					7		6.5		13			mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$		5			5			5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
$\Delta\text{TC}/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with $V_{OS}$ Adjust	$R_S=50\Omega$ , (Note 4)		0.5			0.5			0.5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV	
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_J=25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20		3	20		3	50	pA
					20		1		2			nA

## DC Electrical Characteristics (Continued)

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF256/7 LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$I_B$	Input Bias Current	$T_J=25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100		30	100		30	200	pA nA
$R_{IN}$	Input Resistance	$T_J=25^\circ\text{C}$		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
$A_{VOL}$	Large Signal Voltage Gain	$V_S=\pm 15\text{V}$ , $T_A=25^\circ\text{C}$ $V_O=\pm 10\text{V}$ , $R_L=2\text{k}$ Over Temperature	50	200		50	200		25	200		V/mV V/mV
$V_O$	Output Voltage Swing	$V_S=\pm 15\text{V}$ , $R_L=10\text{k}$ $V_S=\pm 15\text{V}$ , $R_L=2\text{k}$	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V V
$V_{CM}$	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S=\pm 15\text{V}$	$\pm 11$	+15.1 -12		$\pm 11$	$\pm 15.1$ -12		+10	+15.1 -12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		80	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		80	100		dB

## DC Electrical Characteristics

$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$

Parameter	LF155		LF355		LF156/256/257/356B		LF356		LF357		Units
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	
Supply Current	2	4	2	4	5	7	5	10	5	10	mA

## AC Electrical Characteristics

$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/355	LF156/256/ 356B	LF156/256/356/ LF356B	LF257/357	Units
			Typ	Min	Typ	Typ	
SR	Slew Rate	LF155/6: $A_V=1$ , LF357: $A_V=5$	5	7.5	12	50	V/ $\mu\text{s}$ V/ $\mu\text{s}$
GBW	Gain Bandwidth Product		2.5		5	20	MHz
$t_s$	Settling Time to 0.01%	(Note 7)	4		1.5	1.5	$\mu\text{s}$
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$R_S=100\Omega$ $f=100\text{ Hz}$ $f=1000\text{ Hz}$	25		15	15	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$i_n$	Equivalent Input Current Noise	$f=100\text{ Hz}$ $f=1000\text{ Hz}$	0.01		0.01	0.01	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
$C_{IN}$	Input Capacitance		3		3	3	pF

## Notes for Electrical Characteristics

**Note 1:** The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature,  $T_A$ . The maximum available power dissipation at any temperature is  $P_D=(T_{JMAX}-T_A)/\theta_{JA}$  or the  $25^\circ\text{C}$   $P_{DMAX}$ , whichever is less.

**Note 2:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise stated, these test conditions apply:

<b>CAPACITOR COMPARISON CHART</b>			
<b>TYPE</b>	<b>DIELECTRIC ABSORPTION</b>	<b>ADVANTAGES</b>	<b>DISADVANTAGES</b>
NPO ceramic	<0.1%	Small case size Inexpensive Good stability Wide range of values Many vendors Low inductance	DA generally low, but may not be specified Limited to small values (10 nF)
Polystyrene	0.001% to 0.02%	Inexpensive Low DA available Wide range of values Good stability	Damaged by temperature > +85° C Large case size High inductance
Polypropylene	0.001% to 0.02%	Inexpensive Low DA available Wide range of values	Damaged by temperature > +105° C Large case size High inductance
Teflon	0.003% to 0.02%	Low DA available Good stability Operational above +125° C Wide range of values	Relatively expensive Large size High inductance
MOS	0.01%	Good DA Small Operational above +125° C Low inductance	Limited availability Available only in small capacitance values
Polycarbonate	0.1%	Good stability Low cost Wide temperature range	Large size DA limits to 8-bit applications High inductance
Polyester	0.3% to 0.5%	Moderate stability Low cost Wide temperature range Low inductance (stacked film)	Large size DA limits to 8-bit applications High inductance
Monolithic ceramic (High K)	>0.2%	Low inductance Wide range of values	Poor stability Poor DA High voltage coefficient
Mica	>0.003%	Low loss at HF Low inductance Very stable Available in 1% values or better	Quite large Low values (<10 nF) Expensive
Aluminum electrolytic	High	Large values High currents High voltages Small size	High leakage Usually polarized Poor stability Poor accuracy Inductive
Tantalum electrolytic	High	Small size Large values Medium inductance	Quite high leakage Usually polarized Expensive Expensive Poor stability Poor accuracy

