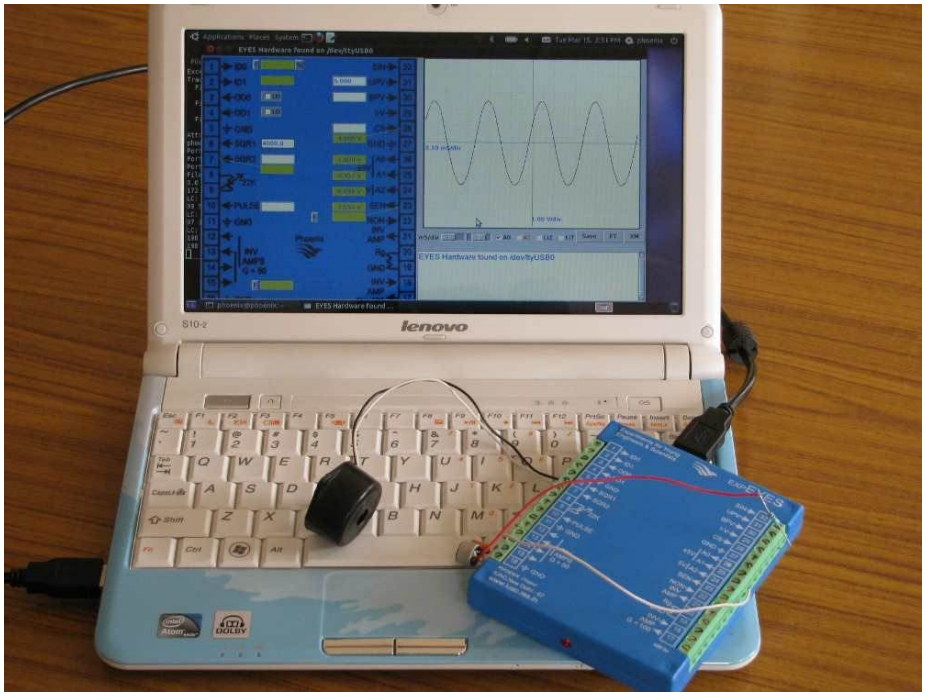
expEYES



Experiments for Young Engineers and Scientists

Manuel de l'utilisateur

avec 50 Expériences Scientifiques

Projet PHOENIXInter-University Accelerator Centre(A Research Centre of UGC) New Delhi 110 067 http://www.iuac.res.in

Contents

1 Un bon départ **7**

1.1 Introduction 7

1.2 Le matériel : connexions externes 7

1.2.1 Signaux numériques 8

1.2.2 Générateurs de signaux 9

1.2.3 Entrées de tension analogiques 9

1.2.4 Sorties de tension analogique 10

1.2.5 Amplificateurs inverseurs 10

1.2.6 Fréquencemètres 11

1.2.7 Masses [Ground] 11

1.2.8 Comment connecter les fils 11

1.3 Installation du logiciel 11

1.3.1 Le CD vif expEYES 12

1.3.2 Installation dans une distribution GNU/Linux Debian ou Ubuntu 12

1.3.3 Pour les autres distributions GNU/Linux 12

1.3.4 Sous MSWindows 12

1.4 Le programme graphique principal 13

1.4.1 La fenêtre du graphique 13

1.5 Mesures élémentaires à l'aide d'expEYES 14

1.5.1 Générer & mesurer des tensions 14

1.5.2 Observer des signaux de tension 15

1.5.3 Mesurer la fréquence 15

1.5.4 Mesurer le Connecter PULSE à ID0 15

1.5.5 Fixer des niveaux de tension 15

1.6 Expériences 16

2 Expériences **17**

2.1 Mesurer la tension 17

2.1.1 Objectif 17

2.1.2 Matériel 17

2.1.3 Procédure 17

2.1.4 Observation 18

2.1.5 Discussion 18

2.2 Tension, courant et résistance 18
2.2.1 Objectif 18
2.2.2 Théorie 18
2.2.3 Matériel 18
2.2.4 Procédure 18
2.2.5 Observation 19
2.2.6 Discussion 19
2.3 Résistances en série 20
2.3.1 Objectif 20
2.3.2 Théorie 20
2.3.3 Matériel 20
2.3.4 Procédure 20
2.3.5 Observation 20
2.3.6 Discussion 20
2.4 Résistances en parallèle 20
2.4.1 Objectif 20
2.4.2 Théorie 21
2.4.3 Matériel 21
2.4.4 Procédure 21
2.4.5 Observation 21
2.4.6 Discussion 21
2.5 Mesure de résistance par comparaison 21
2.5.1 Objectif 21
2.5.2 Théorie 22
2.5.3 Matériel 22
2.5.4 Procédure 22
2.5.5 Observation 22
2.5.6 Discussion 22
2.6 Tension d'une pile au citron 22
2.6.1 Objectif 22
2.6.2 Matériel 23
2.6.3 Procédure 23
2.6.4 Observation 23
2.6.5 Discussion 23
2.7 Tension variable dans le temps 24
2.7.1 Objectif 24
2.7.2 Matériel 24
2.7.3 Procédure 24
2.7.4 Observation 24
2.7.5 Discussion 24
2.8 Tension alternative 25
2.8.1 Objectif 25
2.8.2 Matériel 25
2.8.3 Procédure 25
2.8.4 Observation 25
2.8.5 Discussion 25

2.9 Influence d'une tension alternative 26
2.9.1 Objectif 26
2.9.2 Matériel 26
2.9.3 Procédure 26
2.9.4 Observation 26
2.9.5 Discussion 27
2.10 Composantes continue et alternative d'une tension 27
2.10.1 Objectif 27
2.10.2 Matériel 27
2.10.3 Procédure 27
2.10.4 Observation 28
2.10.5 Discussion 28
2.11 Résistance du corps humain 29
2.11.1 Objectif 29
2.11.2 Matériel 29
2.11.3 Procédure 29
2.11.4 Discussion 29
2.12 Résistances dépendantes de la température 30
2.12.1 Objectif 30
2.12.2 Matériel 30
2.12.3 Procédure 30
2.12.4 Observation 30
2.12.5 Discussion 30
2.13 Résistances dépendant de la lumière 31
2.13.1 Objectif 31
2.13.2 Matériel 31
2.13.3 Procédure 31
2.13.4 Observation 31
2.13.5 Discussion 31
2.14 L'électricité traversant les liquides, en courant continu et alternatif 32
2.14.1 Objectif 32
2.14.2 Matériel 32
2.14.3 Procédure 32
2.14.4 Observation 33
2.14.5 Discussion 33
2.15 Réponse transitoire de circuits RC 33
2.15.1 Objectif 33
2.15.2 Théorie 34
2.15.3 Matériel 34
2.15.4 Procédure 34
2.15.5 Observation 35
2.15.6 Discussion 35
2.16 Réponse transitoire de circuits RL 36
2.16.1 Objectif 36
2.16.2 Théorie 36
2.16.3 Matériel 36

2.16.4 Procédure 36
2.16.5 Observation 37
2.16.6 Discussion 37
2.17 Réponse transitoire de circuits RLC 37
2.17.1 Objectif 37
2.17.2 Théorie 37
2.17.3 Matériel 38
2.17.4 Procédure 38
2.17.5 Observation 39
2.17.6 Discussion 39
2.18 Condensateur dans des circuits en courant alternatif 40
2.18.1 Objectif 40
2.18.2 Théorie 40
2.18.3 Matériel 40
2.18.4 Procédure 40
2.18.5 Observation 41
2.18.6 Discussion 41
2.19 Déphasage dans des circuits RC en courant alternatif 41
2.19.1 Objectif 41
2.19.2 Théorie 41
2.19.3 Matériel 41
2.19.4 Procédure 41
2.19.5 Observation 42
2.19.6 Discussion 42
2.20 Déphasage dans des circuits RL en courant alternatif 43
2.20.1 Objectif 43
2.20.2 Théorie 43
2.20.3 Matériel 43
2.20.4 Procédure 43
2.20.5 Observation 44
2.20.6 Discussion 44
2.21 Matériau ferromagnétique dans un bobinage 44
2.21.1 Objectif 44
2.21.2 Théorie 44
2.21.3 Matériel 44
2.21.4 Procédure 44
2.21.5 Observation 44
2.21.6 Discussion 45
2.22 Intégration et différentiation RC 45
2.22.1 Objectif 45
2.22.2 Théorie 45
2.22.3 Matériel 46
2.22.4 Procédure 46
2.22.5 Observation 47
2.22.6 Discussion 48
2.23 Analyse de Fourier 48

2.23.1 Objectif . . . 48
2.23.2 Matériel . . . 48
2.23.3 Procédure . . . 48
2.23.4 Observation . . . 48
2.23.5 Discussion . . . 48
2.24 Harmoniques composant un signal carré . . . 49
2.24.1 Matériel . . . 49
2.24.2 Procédure . . . 49
2.24.3 Observation . . . 49
2.24.4 Discussion . . . 49

3 Électricité et magnétisme **51**
3.1 Induction électromagnétique . . . 51
3.1.1 Objectif . . . 51
3.1.2 Matériel . . . 51
3.1.3 Procédure . . . 51
3.1.4 Observation . . . 52
3.1.5 Discussion . . . 52
3.2 Un générateur de courant alternatif simple . . . 52
3.2.1 Objectif . . . 52
3.2.2 Matériel . . . 52
3.2.3 Procédure . . . 52
3.2.4 Observation . . . 53
3.2.5 Discussion . . . 53
3.3 Induction mutuelle, transformateur . . . 54
3.3.1 Objectif . . . 54
3.3.2 Matériel . . . 54
3.3.3 Procédure . . . 54
3.3.4 Observation . . . 55
3.3.5 Discussion . . . 55
3.4 Électro-aimant, solénoïde . . . 55
3.4.1 Objectif . . . 55
3.4.2 Matériel . . . 55
3.4.3 Procédure . . . 55
3.4.4 Observation . . . 56
3.4.5 Discussion . . . 56
3.5 Freinage par courants de Foucault . . . 56
3.5.1 Objectif . . . 56
3.5.2 Matériel . . . 56
3.5.3 Procédure . . . 56
3.5.4 Observation . . . 57
3.5.5 Discussion . . . 57

4 Le son **59**
4.1 Générer du son . . . 59
4.1.1 Objectif . . . 59
4.1.2 Matériel . . . 59
4.1.3 Procédure . . . 59
4.1.4 Observation . . . 60
4.1.5 Discussion . . . 60
4.2 La fréquence du son . . . 60
4.2.1 Objectif . . . 60
4.2.2 Matériel . . . 60
4.2.3 Procédure . . . 61
4.2.4 Observation . . . 62
4.2.5 Discussion . . . 62
4.3 La vitesse du son . . . 62
4.3.1 Objectif . . . 62
4.3.2 Matériel . . . 62
4.3.3 Procédure . . . 62
4.3.4 Observation . . . 63
4.3.5 Discussion . . . 63
4.4 La réflexion du son . . . 64
4.4.1 Objectif . . . 64
4.4.2 Matériel . . . 64
4.4.3 Procédure . . . 64
4.4.4 Observation . . . 64
4.4.5 Discussion . . . 64
4.5 Les interférences sonores . . . 65
4.5.1 Objectif . . . 65
4.5.2 Matériel . . . 65
4.5.3 Procédure . . . 65
4.5.4 Observation . . . 66
4.5.5 Discussion . . . 66
4.6 Analyser de la musique . . . 66
4.6.1 Matériel . . . 66
4.6.2 Procédure . . . 66
4.6.3 Observation . . . 67
4.7 Vitesse du son, avec des ultra-sons . . . 67
4.7.1 Objectif . . . 67
4.7.2 Matériel . . . 67
4.7.3 Procédure . . . 67
4.7.4 Observation . . . 68
4.7.5 Discussion . . . 68
4.8 Oscillations forcées d'un cristal piézo-électrique . . . 68
4.8.1 Objectif . . . 68
4.8.2 Matériel . . . 68
4.8.3 Procédure . . . 68
4.8.4 Observation . . . 69

5 Électronique **71**
5.1 Redresseur demi-onde, jonction PN 71
5.1.1 Objectif 71
5.1.2 Matériel 71
5.1.3 Procédure 71
5.1.4 Observation 72
5.1.5 Discussion 72
5.2 Signaux sinusoïdaux en opposition de phase (déphasés de 180°) . 73
5.2.1 Objectif 73
5.2.2 Matériel 73
5.2.3 Procédure 73
5.2.4 Observation 73
5.2.5 Discussion 74
5.3 Les diodes, redresseur double alternance 74
5.3.1 Objectif 74
5.3.2 Matériel 74
5.3.3 Procédure 74
5.3.4 Observation 75
5.3.5 Discussion 75
5.4 Caractéristique courant-tension (I-V) d'une diode 75
5.4.1 Objectif 75
5.4.2 Théorie 75
5.4.3 Matériel 75
5.4.4 Procédure 76
5.4.5 Observation 76
5.4.6 Discussion 77
5.5 Diodes émettrices de lumière, DEL (LED) 77
5.5.1 Objectif 77
5.5.2 Théorie 77
5.5.3 Matériel 77
5.5.4 Procédure 77
5.5.5 Observation 78
5.5.6 Discussion 78
5.6 Caractéristique d'un transistor en émetteur commun 78
5.6.1 Objectif 78
5.6.2 Matériel 78
5.6.3 Procédure 78
5.6.4 Observation 79
5.6.5 Discussion 79
5.7 Amplificateur à transistor (Émetteur commun) 79
5.7.1 Objectif 79
5.7.2 Matériel 79
5.7.3 Procédure 80
5.7.4 Observation 80
5.7.5 Discussion 81
5.8 Photo-transistor 81

5.8.1 Objectif . . . 81
5.8.2 Matériel . . . 81
5.8.3 Procédure . . . 81
5.8.4 Observation . . . 82
5.8.5 Discussion . . . 82
5.9 Transmission de signal opto-électrique . . . 82
5.9.1 Objectif . . . 82
5.9.2 Matériel . . . 82
5.9.3 Procédure . . . 82
5.9.4 Observation . . . 83
5.9.5 Discussion . . . 83
5.10 Modulation d'amplitude et de fréquence . . . 83
5.10.1 Objectif . . . 83
5.10.2 Matériel . . . 83
5.10.3 Procédure . . . 84
5.10.4 Observation . . . 85
5.10.5 Discussion . . . 85

6 Mécanique, optique et thermophysique 87
6.1 Résonance d'un pendule entretenu . . . 87
6.1.1 Objectif . . . 87
6.1.2 Matériel . . . 87
6.1.3 Procédure . . . 87
6.1.4 Observation . . . 88
6.1.5 Discussion . . . 88
6.2 Valeur de 'g', pendule pesant . . . 88
6.2.1 Objectif . . . 88
6.2.2 Théorie . . . 88
6.2.3 Matériel . . . 88
6.2.4 Procédure . . . 88
6.2.5 Observation . . . 89
6.2.6 Discussion . . . 89
6.3 Oscillations d'un pendule . . . 90
6.3.1 Objectif . . . 90
6.3.2 Matériel . . . 90
6.3.3 Procédure . . . 90
6.3.4 Observation . . . 90
6.3.5 Discussion . . . 91
6.4 Valeur de 'g' par temps de vol . . . 91
6.4.1 Objectif . . . 91
6.4.2 Matériel . . . 91
6.4.3 Procédure . . . 91
6.4.4 Observation . . . 92
6.4.5 Discussion . . . 92
6.5 Mesure de température, PT100 . . . 92
6.5.1 Objectif . . . 92

6.5.2 Théorie 92
6.5.3 Matériel 92
6.5.4 Procédure 92
6.5.5 Observation 93
6.5.6 Discussion 93
6.6 Contrôleur de température 94
6.6.1 Objectif 94
6.6.2 Matériel 94
6.6.3 Procédure 94
6.6.4 Observation 95
6.6.5 Discussion 95

7 Expériences diverses **97**
7.1 Stroboscope 97
7.1.1 Objectif 97
7.1.2 Matériel 97
7.1.3 Procédure 97
7.1.4 Observation 97
7.1.5 Discussion 98
7.2 Mesure de transparence 98
7.2.1 Objectif 98
7.2.2 Matériel 98
7.2.3 Procédure 98
7.2.4 Observation 99
7.3 Ondes stationnaires dans une corde 99
7.3.1 Objectif 99
7.3.2 Théorie 99
7.3.3 Matériel 99
7.3.4 Procédure 100
7.3.5 Observation 100
7.3.6 Discussion 100

8 Accessoires **101**
8.1 La collection d'accessoires standard 101
8.1.1 Montage à microphone 102
8.1.2 Bobinages 3000 tours (2) 102
8.1.3 Bobinage 1000 tours 102
8.1.4 Électro-aimant (avec un noyau en fer) 102
8.1.5 Disques piézo-électriques (2) 102
8.1.6 Haut-parleur (grand) 102
8.1.7 Haut-parleur (petit) 102
8.1.8 Moteur à courant continu 102
8.1.9 Support de transistor 103
8.1.10 Aimants permanents 103
8.1.11 Autres objets 103
8.2 Barrière photo-électrique et pendule pesant 104

8.3 Émetteur-récepteur piézo ultra-sonores 104
8.4 Appareil à corde vibrante 105

List of Figures

1.1 Le tableau de bord d'ExpEYES avec les connexions externes des deux côtés. Les flèches indiquent les sens des signaux. 8
1.2 Copie d'écran du programme Explore. Les flèches indiquent la direction des signaux. Les champs textes servent à fixer des valeurs. Des boutons sont fournis pour les mesures de fréquences. 14

2.1 Mesure de la tension de piles sèches 18
2.2 Caractéristique I-V d'une résistance 19
2.3 (a) des plaques de zinc et de cuivre insérées dans un citron. (b) La tension continue produite par la pile. 23
2.4 Graphique d'une tension continue en fonction du temps 24
2.5 Forme de l'onde de tension alternative issue de SIN 25
2.6 Influence d'un câble électrique connecté au secteur 26
2.7 (a) Tension oscillant entre 0 et 5 V 28
2.8 (b) Après traversée d'un condensateur 28
2.9 Tension après passage dans la main. 29
2.10 30
2.11 31
2.12 (a) Montage expérimental. (b) Tension continue totale et tension à travers la résistance de 1 $k\Omega$. 32
2.13 Tension alternative totale et tension à travers la résistance de 1 $k\Omega$. 32
2.14 Réponse transitoire d'un circuit RC. 34
2.15 Ce dernier graphique représente la charge d'un condensateur par une source de courant constant. 34
2.16 Tension aux bornes du bobinage après un échelon de tension de 5 à 0V. 36
2.17 Réponse transitoire d'un circuit RLC. (a) Le montage (b) Résultat avec un bobinage sans noyau 38
2.18 Résultat avec un noyau en ferrite. 38
2.19 Réponse RLC avec une résistance en série de $1k\Omega$ qui ajoute un amortissement. 39

2.20 Copie d'écran montrant la tension totale aux bornes d'un circuit RC et la tension aux bornes du condensateur. $C = 1\ \mu F$ et $R = 560\Omega$. 40
2.21 Copie d'écran montrant le déphasage pour $R = 560\ \Omega$ et $C = 1\ \mu F$. 42
2.22 Circuit RL en régime sinusoïdal. Déphasage aux bornes du bobinage. 43
2.23 Circuit RL. Effet du noyau en ferrite. 45
2.24 Intégrateur RC 45
2.25 Différentiateur RC 45
2.26 Signal carré, intégré et différentié. 46
2.27 46
2.28 46
2.29 Intégration à 20 Hz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$ 47
2.30 Intégration à 1 kHz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$ 47
2.31 Différentiation à 20 Hz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$ 48
2.32 (a) Signal sinusoïdal. (b) Sa transformée de Fourier. 49
2.33 Signal carré et sa transformée de Fourier 50

3.1 Tension induite dans un bobinage par un aimant en mouvement. 52
3.2 Tension en sortie du générateur de courant alternatif avec différentes vitesses de rotation de l'aimant 53
3.3 Induction mutuelle entre deux bobines. (a) Le montage. (b) Avec un noyau en ferrite 54
3.4 Induction mutuelle entre deux bobines, avec deux noyaux en forme de E. 54
3.5 (a) Solénoïde parcouru par un courant repoussant un aimant permanent. (b) Champ magnétique d'un solénoïde parcouru par un courant. 56

4.1 Générer du son à partir de signaux électriques. 60
4.2 Numériser le son. (a) branchements (b) son à 3012 Hz 61
4.3 son à 2000 Hz 61
4.4 (a) Montage expérimental (b) Schéma de la propagation d'ondes sonores, et de la variation du signal du microphone avec la pression. 63
4.5 Amplitude du son capté à deux positions séparées d'une demi-longueur d'onde. 63
4.6 Battements créés à l'aide de deux fréquences voisines. 65
4.7 Analyse de Fourier de notes de musique. 66
4.8 (a) Connexions, (b) Montage expérimental 67
4.9 Sortie sonore du piézo (a) fréquence d'excitation de 3625 Hz (b) fréquence d'excitation de 100 Hz 69
4.10 Spectre de puissance de Fourier du son du disque piézo. (a) Excité à 100 Hz (b) Excité à 500 Hz. 69

5.1 Une diode utilisée comme redresseur demi-onde. 72
5.2 Redresseur avec filtrage. (a) 1 μF (b) 100 μF. 72
5.3 Un amplificateur inverseur pour faire un signal sinusoïdal déphasé de 180°. 73
5.4 Redressement double alternance réalisé à l'aide de deux diodes. 74
5.5 Caractéristiques courant-tension (I-V) pour une diode 1N4148 . 76
5.6 Caractéristiques courant-tension (I-V) pour une diode Zéner $3,3\,V$. 76
5.7 Caractéristiques courant-tension (I-V) de DELs bleue et verte . 77
5.8 Caractéristiques du transistor en émetteur commun 78
5.9 Amplificateur à transistor. Le montage, et point de fonctionnement avec une polarisation de $2\,V$ 80
5.10 Même montage, point de fonctionnement avec une polarisation de $4\,V$ 80
5.11 Caractéristique du photo-transistor en configuration émetteur commun. 81
5.12 Le signal au collecteur du photo-transistor 82
5.13 Modulation d'amplitude.(a) Montage expérimental (b) Signal modulant présenté en même temps que la sortie modulée. 84
5.14 (1) Spectre de puissance de la sortie AM. Générée avec 1800 mesures et un intervalle de temps de 40 μs entre elles. (2) La sortie FM. 85

6.1 Mesure de la période d'un pendule pesant à l'aide du barrière photo-électrique, pour calculer la valeur de 'g'. 89
6.2 Calculs la valeur de 'g', dispersion des résultats. 89
6.3 Nature des oscillations d'un pendule 90
6.4 Gravité par mesure de temps de vol. La bille de fer est tenue par l'électro-aimant. 91
6.5 Photo du montage 93
6.6 Courbe du refroidissement de l'eau mesurée à l'aide d'un capteur PT1OO. 93
6.7 Mesure de température à l'aide d'un LM35. 94

7.1 Stroboscope utilisant une DEL comme flash. Le courant alternatif récupéré par la bobine à cause de l'aimant tournant est utilisé pour vérifier la vitesse de rotation. 98
7.2 Mesure de transmission de lumière à l'aide d'un photo-transistor 99

8.1 Collection d'accessoires standard. 101
8.2 Barrière photo-électrique et pendule pesant. 104
8.3 Émetteur piézo 40 kHz et récepteur. 104
8.4 Appareil à corde vibrante. 105

Préface

Le projet PHOENIX (Physics with Home-made Equipment & Innovative Experiments) a commencé en 2004 au Inter-University Accelerator Centre avec l'objectif d'améliorer l'enseignement des sciences dans les Universités Indiennes. Le développement d'équipements de laboratoire à bas prix et la formation des professeurs sont les deux activités majeures de ce projet. Le premier produit était une interface généraliste, s'appelait aussi Phoenix, et s'articulait avec ces instruments tels qu'un compteur Geiger-Muller, un spectromètre alpha, etc. La puissance des ordinateurs personnels a été utilisée pour réaliser des expériences et de l'analyse de données. La conception du matériel est ouverte et le logiciel est publié sous la Licence Publique Générale GNU GPL. Les retours et le soutien de la communauté d'utilisateurs ont été cruciaux pour ce projet.

Le nouveau produit, expEYES (Experiments for Young Engineers & Scientists), est conçu pour être un outil pour étudier par l'expérimentation, valide pour les classes de collège et au-delà. On a essayé de maintenir un équilibre entre les expériences ouvertes principalement réservées à l'exploration et les expériences conventionnelles avec un objectif spécifique. Nous avons essayé d'optimiser la conception pour rester simple, souple, robuste et surtout bon marché. Il n'y a pas besoin d'une alimentation séparée, puisqu'il fonctionne à l'aide de l'alimentation 5V de la prise USB, indépendamment des pannes de courant communes à certains endroits. Le prix très abordable le rend accessible à des individus et nous espérons voir des étudiants faire des expériences hors des quatre murs du laboratoire, qui ferme quand sonne la cloche.

Vous pourrez trouver plus de détails et des versions mises à jour de ce document sur le site web http://expeyes.in

Ajith Kumar
V V V Satyanarayana
Jimson Sacharias
Deepak Munda
S. Venkataramanan
(traduction française : Georges Khaznadar)

Chapter 1

Un bon départ

1.1 Introduction

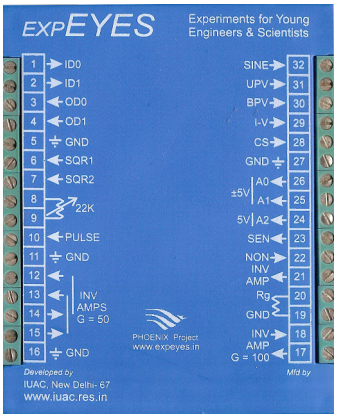
On mesure plus souvent la performance d'un étudiant par sa capacité à mémoriser que par sa compréhension réelle. Le résultat est que la plupart échouent à appliquer ce qu'ils apprennent en classe aux choses qu'ils rencontrent dans la vie quotidienne. On peut corriger ça dans une certaine mesure par un enseignement basé sur l'exploration et l'expérience. En général, les expériences impliquent de contrôler quelques paramètres physiques tels que la température, la pression, la vitesse, l'accélération, la force, la tension, le courant, etc. Si la grandeur physique mesurée change rapidement, les mesures demandent à être automatisées et un ordinateur devient un outil utile. Par exemple, comprendre les variations du courant alternatif du secteur avec le temps nécessite de le mesurer toutes les millisecondes.

La possibilité de réaliser des expériences avec une précision raisonnable ouvre un champ entièrement nouveau dans l'enseignement de la science. Les étudiants peuvent comparer les données expérimentales avec les modèles mathématiques et examiner les lois fondamentales gouvernant des phénomènes variés. Les chercheurs formulent des hypothèses, conçoivent et réalisent des expériences, analysent les données pour vérifier si elles ont en accord avec la théorie. Les objectifs du projet PHOENIX (Physics with Home-made Equipment and Innovative Experiments) est de fournir les mêmes facilités aux étudiants à une échelle plus petite. On a déjà développé plusieurs équipements et expériences à ce jour. Ce document décrit quelques expériences qu'on peut faire avec l'interface nommée *expEYES*.

1.2 Le matériel : connexions externes

Une photographie du matériel est présentée dans la figure 1.1. On peut le connecter au port USB d'un ordinateur. Il a 32 bornes d'entrée/Sortie, où on peut connecter des signaux du monde extérieur. Gardez en mémoire qu'il ne

Figure 1.1: Le tableau de bord d'ExpEYES avec les connexions externes des deux côtés. Les flèches indiquent les sens des signaux.



peut traiter que des signaux électriques, on peut suivre et contrôler les niveaux de tension à plusieurs bornes. Pour mesurer d'autre paramètres (tels que la température, la pression, etc.), il faut les convertir en signaux électriques en utilisant des éléments capteurs appropriés. Même si notre objectif premier est de faire des expériences, vous êtes encouragé à lire la brève description du matériel donnée ci-dessous.

IMPORTANT : *Les tensions externes connectées à expEYES doivent être dans l'intervalle* $\pm 5\ V$.

1.2.1 Signaux numériques

On peut groupe les connexions externes selon leurs fonctions.

Entrées numériques (ID0 et ID1)

Le logiciel peut lire le niveau de tension appliqué à ces bornes. Toute tension inférieure à 0,8 V est traitée comm 0 (BAS) et tout ce qui dépasse 2 V est traité comme 1 (HAUT). Si la tension change entres HAUT et BAS, ces bornes peuvent mesurer la fréquence et le rapport cyclique des signaux connectés. ExpEYES peut mesurer l'intervalle de temps entre les transitions de tension sur ces bornes avec une résolution de l'ordre de la microseconde.

Sorties numériques (OD0 et OD1)

à l'aide du logiciel, on peut commander la tension de ces bornes à 0 ou 5 V. OD0 est amplifiée par un transistor et peut contrôler un courant jusqu'à 100 mA. OD1 ne peut contrôler que jusqu'à 5 mA.

1.2.2 Générateurs de signaux

SINE

Générateur de signal sinusoïdal de fréquence fixe, la fréquence vaut environ 90 Hz. Sortie bipolaire avec une amplitude proche de 4 V.

SQR1

Peut générer un signal carré, oscillant entre 0 et 5 V La fréquence est programmable de 15 Hz à 1 MHz. Les valeurs de fréquences intermédiaires ne sont pas toutes possibles.

SQR2

Peut générer un signal carré, oscillant entre 0 et 5 V La fréquence peut être réglée à toute valeur entre 0,7 Hz et 90 kHz. L'oscillateur nécessite une résistance variable de $22\,k\Omega$ pour fonctionner. L'intervalle de fréquence est contrôlé par logiciel et le réglage fin de fréquence est fait en ajustant la résistance variable. Les intervalles de fréquence sont $< 25Hz$, 25 à $1kHz$, $1kHz$ à $10kHz$ et $10kHz$ à $90kHz$. Quand on écrit une fréquence dans un intervalle particulier, ça choisit cet intervalle. On ajuste alors la résistance variable pour obtenir la fréquences désirée. La valeur réelle de la fréquence est mesurée et affichée durant l'ajustement.

PULSE

La fréquence de sortie est 488 Hz. Le rapport cyclique peut être programmé de 0 à 100 % en 255 étapes. Cette borne peut être configurée pour générer un signal carré, comme SQR1. Cette propriété est utilisée par le programme qui démontre les interférences sonores.

1.2.3 Entrées de tension analogiques

A0 et A1

peuvent mesurer la tension dans un intervalle$\pm 5\,V$. La résolution de la conversion analogique-numérique est 12 bits. La tension à ces bornes peut être affichée en fonction du temps, ce qui donne la propriété d'un oscilloscope basse fréquence à deux canaux.

A2

Pour la mesure de tensions. L'entrée doit être dans un intervalle de 0 à 5 V. La résolution est de 12 bits. La tension peut être représentée en fonction du temps à l'aide du logiciel.

1.2.4 Sorties de tension analogique

BPV

Sortie de tension bipolaire. Peut être programmée à toute valeur entre -5 V et +5 V. La résolution est de 12 bits, ce qui implique un échelon de tension minimal de 2,5 mV.

UPV

Sortie de tension unipolaire. Peut être programmée entre 0 et +5 V. Ne peut pas être utilisée en même temps que la sortie de courant constant CS, dans la mesure où elles utilisent la même sortie de convertisseur numérique-analogique.

IV

Il s'agit juste de la sortie de BPV à travers une résistance de1 $k\Omega$. Utilisée pour faire des caractéristiques I-U.

Source de courant constant (CS)

programmable à toute valeur entre 0,05 et 2,0 mA. La résistance de charge devrait être choisie de telle façon que le produit RI soit moins de 2 V. N'oubliez pas que CS et UPV partagent la même sortie de convertisseur numérique-analogique.

1.2.5 Amplificateurs inverseurs

Il y a trois amplificateurs inverseurs, implémentés à l'aide d'ampli-ops TLO84, désignés ci-dessous à l'aide de leurs numéros des bornes d'entrée et de sortie.

15 ⇒ 13

Entrée à la borne 15 est sortie à la borne 13. Le gain par défaut est 50. On peut réduire le gain en mettant une résistance en série avec l'entrée. Le gain est donné par la relation $G = \frac{R_f}{(R_{ext}+1000)}$ où la résistance interne $R_f = 50\,000\,\Omega$. La résistance externe en série est R_{ext} .

14 ⇒ 12

Entrée à la borne 14 et sortie à la 12. Similaire au précédent.

17 ⇒ 18

Entrée en 17 et sortie en 18. Le gain par défaut est 100. On peut réduire le gain en mettant une résistance en série avec l'entrée. Le gain est donné par la relation $G = \frac{R_f}{(R_{ext}+100)}$ où la résistance interne est $R_f = 10\,000\,\Omega$ et la résistance externe en série est R_{ext} .

Amplificateur non-inverseur

L'entrée est en 21 et la sortie en 22. Le gain est régi par une résistance externe R_g connectée entre 19 et 20, et donné par la relation $Gain = 1 + 10000/R_g$. Cet amplificateur est implémenté à l'aide d'un circuit intégré OP27 et a une tension de décalage d'environ $30\,\mu V$.

Entrée de capteur (SEN)

Pour y connecter tout capteur dont la résistance varie avec le paramètre mesuré. Quand on l'utilise avec le photo-transistor, on branche le collecteur ici, et l'émetteur à la masse [Ground]. Capable de mesurer la tension et la fréquence.

1.2.6 Fréquencemètres

La borne 15 peut servir à mesurer la fréquence d'un signal bipolaire (qui varie entre des valeurs négatives et positives). L'amplitude minimale mesurable est 100 mV et la maximale est 5 V.

ID0, ID1 et SEN peuvent être utilisées pour mesurer la fréquence de signaux qui oscillent entre 0 et 5 V.

1.2.7 Masses [Ground]

Les bornes marquées GND et décorées d'un symbole de masse électrique représentent le niveau de tension 0 V. Elles sont connectées entre elles et à la masse de l'ordinateur à travers le câble USB.

1.2.8 Comment connecter les fils

On connecte les fils aux bornes à l'aide d'un tournevis. Desserrer la vis (la monter presque jusqu'en haut du connecteur), entrer le fil sur le côté et le serrer. On ne doit pas insérer les fils quand la vis est dans la position serrée. N'utiliser que le petit tournevis qui vient avec le kit. Quand on doit changer le connexion à une borne plusieurs fois durant une expérience, il sera commode de fixer une pince crocodile à cette borne.

1.3 Installation du logiciel

ExpEYES ne peut fonctionner que sur des ordinateurs ayant un interpréteur Python et un module Python pour accéder au port série USB. L'interface USB est gérée par des pilotes qui représentent le port USB comme un port série RS232 aux programmes de l'application. La communication avec expEYES est faite à l'aide d'une bibliothèque écrite en langage Python. Des programmes avec une interface utilisateur graphique ont été écrits pour plusieurs expériences. Il y de nombreuses façons de faire fonctionner le logiciel :

1.3.1 Le CD vif expEYES

la façon la plus simple pour commencer est de démarrer votre PC à l'aide du CD vif Phœnix. Dans le BIOS du PC, faites en sorte que le lecteur de CD soit le premier au démarrage, insérez le CD et redémarrez l'ordinateur. Un bureau apparaîtra et on peut démarrer expEYES depuis le menu **`Applications -> Science`**. Le CD vif expEYES est basé sur la distribution GNU/Linux Ubuntu 10.10.

1.3.2 Installation dans une distribution GNU/Linux Debian ou Ubuntu

Installer python-imaging-tk depuis le dépôt de la distribution qu'on a. Télécharger ¡code>expeyes.deb¡/code> depuis http://expeyes.in et l'installer. Installer aussi *python-scipy* et *grace* (un grapheur 2D) pour une pleine fonctionnalité.

1.3.3 Pour les autres distributions GNU/Linux

Télécharger ¡code>expeyes.tgz¡/code> depuis http://expeyes.in et suivre les instructions du fichier README. Il est important d'accorder des permissions de lecture/écriture à tous les utilisateurs sur le port USB où expEYES est connecté.

1.3.4 Sous MSWindows

Bien qu'expEYES soit un Logiciel Libre développé à l'aide de logiciels libres, il fonctionne sur des plateformes non-libres aussi. Pour l'installer sous MS Windows, il vous faut les fichiers suivants (donnés sur le CD) :

- CDM20814_Setup.exe
- python-2.6.6.msi
- pyserial-2.5.win32.exe
- PIL-1.1.7.win32-py2.6.exe
- numpy-1.6.0b2-win32-superpack-python2.6.exe
- scipy-0.9.0-win32-superpack-python2.6.exe
- expeyes.zip

Dézipper le fichier ¡code>expeyes.zip¡/code>, cliquer double sur ¡code>explore.py¡/code> dans le répertoire nommé EYES nouvellement créé.

Si vous avez le CD vif nommé **expEYES**, examinez le contenu du dossier nommé WINEYES. Tous les fichiers mentionnés ci-dessus sont dans ce dossier. Cliquez double sur eux dans l'ordre mentionné ci-dessus pour les installer. L'utilitaire grapheur XmGrace n'est pas disponible sous Windows. La sortie de la transformée de Fourier sera enregistrée sur le disque au format texte.

1.4 Le programme graphique principal

Lancez **Applications->Science->expEYES** depuis le menu. Ça lance une fenêtre graphique comme dans la figure 1.2, voyez l'explication ci-dessous.

- Un clic sur les boîtes où s'affichent les numéros de bornes permet d'accéder à de l'aide en ligne.
- Le statut des entrées numériques décide de la couleur de la zone juste à côté d'elles. Un vert pâle signifie HAUT et un gris signifie BAS. Quand on applique une tension oscillant entre 0 et 5V, ce champ va clignoter.
- La zone d'affichage près de la borne 15 peut clignoter si un signal alternatif est connecté là.
- La zone d'affichage de la fréquence de SEN peut clignoter si la tension d'entrée varie entre 0 et 5 V.
- Les boutons marqués ≪ F ≫ peuvent être utilisés pour mesurer la fréquence, quand les champs colorés sont en train de clignoter.
- On peut fixer la valeur des signaux de sortie en les entrant dans la boîte de texte voisine. On peut fixer la tension, le courant, la fréquence et le rapport cyclique de cette façon. Tapez Entrée pour rendre la valeur effective. En cas de succès, un point décimal sera affiché.
- SQR2 nécessite la résistance externe de 22 $k\Omega$ pour fonctionner. La fréquence réelle est affichée juste sous le champ texte, là où on fixe la fréquence.
- Les états des sorties numériques, OD0 et OD1, peuvent être changés en utilisant les boutons à cocher.
- Les tensions aux bornes d'entrées 23, 24, 25 et 26 sont affichées constamment à côté d'elles.

1.4.1 La fenêtre du graphique

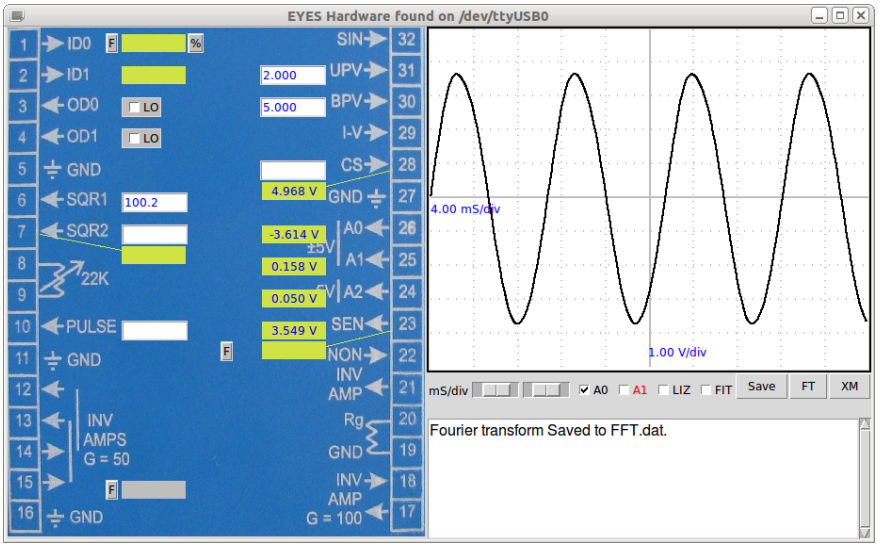
La fenêtre de graphique à droite fonctionne comme un oscilloscope à basse fréquence. La cadence d'échantillonnage maximale est de 100 kHz seulement. On peut numériser des signaux sinusoïdaux en utilisant un seul canal jusqu'à 20 kHz, et jusqu'à 10 kHz quand les deux canaux sont utilisés. Les contrôles suivants sont disponibles :

- Curseur d'échelle horizontale (ms/carreau). Le mettre à la valeur minimale puis augmenter pour voir plus de périodes à l'écran.
- Cases à cocher pour sélectionner A0 et A1.
- Case à cocher LIZ pour faire une figure de Lissajous à l'aide des entrées A0 et A1.

- Case à cocher FIT pour activer le calcul de l'amplitude, de la fréquence et de la phase en modélisant [to fit] les données à l'aide de l'équation $V = V_0 \sin(\omega t + \theta) + C$.
- Bouton SAVE pour enregistrer les données dans le fichier ¡code>explore.dat¡/code> (format : deux colonnes de texte).
- FT pour calculer un spectre de puissance par transformation de Fourier [Fourier Transform] des données des canaux activés. Si XmGrace et pygrace sont installés, une fenêtre s'ouvre. Le spectre de puissance est enregistré dans le fichier ¡code>exploreFFT.dat¡/code> en format texte.

1.5 Mesures élémentaires à l'aide d'expEYES

Figure 1.2: Copie d'écran du programme Explore. Les flèches indiquent la direction des signaux. Les champs textes servent à fixer des valeurs. Des boutons sont fournis pour les mesures de fréquences.



Avant de commencer les expériences, faisons quelques exercices simples pour nous familiariser avec ExpEYES. Démarrez votre ordinateur avec le cédérom vif, connectez ExpEYES au port USB et démarrez le programme ExpEYES depuis le menu **Applications->Science**.

1.5.1 Générer & mesurer des tensions

- Connecter BPV à A0

- Fixer BPV à une certaine tension et observer l'affichage à A0
- Essayer A1 au lieu de A0
- Répéter la même chose en connectant UPV à A2

1.5.2 Observer des signaux de tension

- Connecter SQR1 à A0
- Fixer SQR1 à 100 Hz
- Ajuster l'échelle horizontale (ms/Div) pour voir 4 ou 5 périodes du signal carré
- Répéter la même chose avec d'autres valeurs de fréquence
- Connecter SINE à A1 et observer les deux traces simultanément
- Explorez les option FIT, XM et FT.

1.5.3 Mesurer la fréquence

- Connecter SQR1 à ID0
- Fixer SQR1 à 1000
- Cliquer sur le bouton « F » de ID0
- Connecter SINE à la borne 15 et mesurer la fréquence[1].

1.5.4 Mesurer le Connecter PULSE à ID0

- Connecter aussi à A0, si on veut observer la forme du signal.
- Fixer PULSE à une valeur quelconque comprise entre 0 et 100
- Cliquer sur le bouton « % » de ID0, pour mesurer le rapport cyclique.rapport cyclique

1.5.5 Fixer des niveaux de tension

- Connecter OD0 à ID0
- Cliquer sur le bouton à cocher observer la couleur d'affichage de ID0.

[1] La borne 15 ne peut pas mesurer la fréquence des sorties SQR1 ou SQR2, parce qu'elles n'oscillent pas en-dessous de zéro.

1.6 Expériences

Une expérience scientifique implique en général le contrôle et la mesure de divers paramètres physiques comme la température, la pression, la tension, le courant, etc. Le matériel de base d'expEYES peut générer différentes sortes de signaux électriques et mesurer des signaux électriques. Pour mesure quoi que ce soit d'autre qu'une tension, il faut convertir à l'aide d'éléments capteurs appropriés. Par exemple un capteur de température donnera une tension indiquent la température. Comme les expériences en électricité et magnétisme ne nécessitent aucun capteur, nous avons plus d'expériences basées sur l'électricité et le magnétisme.

Un programme avec une interface graphique est fourni pour chacune des expériences de ce manuel. Cependant il est possible de faire la même chose en écrivant quelques lignes en langage Python. Toute la communication avec expEYES est faite à l'aide d'une bibliothèque Python nommée ¡code>eyes.py¡/code>. Des bibliothèques Python sont utilisées pour l'analyse des données. Si vous êtes intéressé par développer de nouvelles expériences basées sur expEYES, c'est une bonne idée d'étudier le langage de programmation Python. Pratiquement chaque expérience peut être étendue d'une façon ou d'une autre et quelques suggestions sont faites dans ce sens.

Les chapitres suivants décrivent des expériences sur divers sujets comme l'électricité, le magnétisme, l'électronique, le son, la chaleur, etc. Comme le kit expEYES est destiné à l'auto-apprentissage, nous avons inclus quelques expériences très triviales au début.

Chapter 2

Expériences

Nous commençons avec la tâche triviale de mesurer la tension d'une pile. On introduit ensuite le courant et la résistance, puis des résistances changeant avec la lumière et la température. Le concept de Courant Alternatif est introduit en traçant le graphique d'une tension en fonction du temps.

Le comportement d'éléments de circuit comme des condensateurs et des bobinages en courant alternatif et continu sont explorés, en mesurant des paramètres tels que l'amplitude, la fréquence et la phase. La réponse transitoire d'une résistance et d'un condensateur en série est utilisée pour mesurer la capacité. L'inductance est aussi mesurée de cette façon. On examine l'effet de matériaux ferromagnétiques dans un bobinage.

L'analyse de Fourier d'un signal carré est faite pour étudier les harmoniques. L'intégration et la différentiation d'un signal carré à l'aide de circuits RC est aussi explorée.

2.1 Mesurer la tension

2.1.1 Objectif

Apprendre à mesurer la tension à l'aide d'expEYES et acquérir une notion du concept de masse électrique [Electrical Ground].

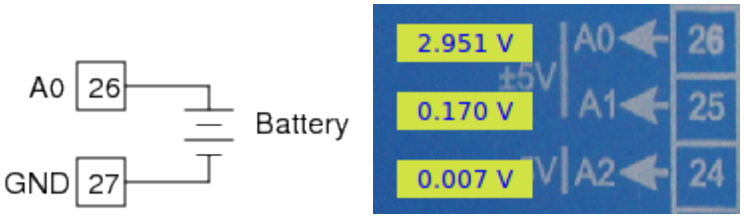
2.1.2 Matériel

- piles sèches de tensions 1,5 V
- Support de piles avec deux fils de connexion.

2.1.3 Procédure

- Connecter le Négatif de la pile sèche à la masse [Ground].
- Borne positive de la pile en A0.

Figure 2.1: Mesure de la tension de piles sèches



2.1.4 Observation

La tension sera affichée à gauche de A0, comme montré sur la figure 2.1.

2.1.5 Discussion

On mesure la différence de potentiel expEYES mesurent la tension par rapport aux bornes de masse marquées GND. Nous avons connecté la borne négative de la pile à la masse [Ground]. La borne positive est à +3 V par rapport à la borne négative.

Recommencer l'expérience en connectant la borne positive de la pile à GND et la négative à A0. La tension sera présentée comme négative. *Est-ce que ça donnerait la tension correcte, si la masse [Ground] n'était pas connectée ?*

2.2 Tension, courant et résistance

2.2.1 Objectif

En apprendre au sujet du courant, de la résistance, et de la loi d'Ohm. Tracer la courbe courant-tension [I-V] d'une résistance.

2.2.2 Théorie

La tension aux bornes d'un conducteur est directement proportionnelle au courant qui le traverse. La constante de proportionnalité est nommée Résistance. Ceci est connu sous le nom de Loi d'Ohm, avec l'expression mathématique suivante :

$U \propto I$; $U = RI$ *ou* $R = \frac{U}{I}$

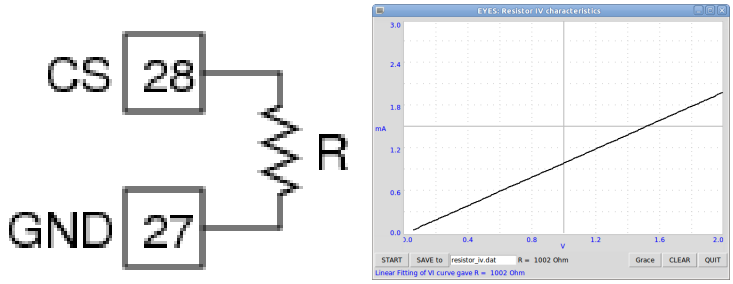
2.2.3 Matériel

- Une résistance de $1k\Omega$

2.2.4 Procédure

- Connecter la résistance entre la source de courant CS et la masse [Ground].

Figure 2.2: Caractéristique I-V d'une résistance



- Fixer le courant à 0,5 mA et noter la tension en CS.
- Changer le courant par paliers de 0,5 mA. (La tension ne devrait pas dépasser 2 V à la borne CS)
- Faire un clic droit sur le tableau de bord. Choisir **`Resistor IV`** dans le menu contextuel.
- Tracer le graphique à l'aide du bouton START.

2.2.5 Observation

I (mA)	U (V)
0,5	0,508
1,0	1,011
1,5	1,510

La précision de la source de courant n'est que de 1%, à cause de la tolérance sur la valeur de la résistance utilisée. Pour les applications nécessitant une précision supérieure, on peut la calibrer à l'aide d'une résistance connue. La courbe I-V est présentée à la figure 2.2.

2.2.6 Discussion

À l'aide d'expEYES, on peut fixer le courant issu de CS (de 0,05 mA à 2 mA). La tension en CS dépend de la résistance connectée de la source de courant à la masse [Ground][1].La tension aux bornes de cette source de courant particulière ne devrait pas dépasser 2 V. Choisir la résistance de charge et les valeurs de courant en fonction de ça.

Le graphique est une ligne droite comme la tension est directement proportionnelle au courant. La courbe ne sera pas une ligne droite pour les éléments non-linéaires, comme une diode.

[1]La tension aux bornes de cette source de courant particulière ne devrait pas dépasser 2 V. Choisir la résistance de charge et les valeurs de courant en fonction de ça.

2.3 Résistances en série

2.3.1 Objectif

Trouver la résistance équivalente à une combinaison en série de résistances.

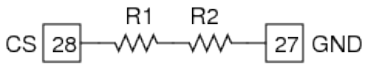
2.3.2 Théorie

Pour les combinaisons en série de résistances, la résistance totale est donnée par $R = R1 + R2 + \cdots$

2.3.3 Matériel

Résistances de $560\,\Omega$ et $1\,k\Omega$.

2.3.4 Procédure



Connecter les deux résistances en série entre CS et la masse [Ground]
Fixer le courant à 1 mA et prendre note de la tension affichée à la borne CS.

2.3.5 Observation

R (Ω)	**U** (**V**)
560	0,558
1000	0,998
1000+560	1,556

Comme le courant est le même, la tension totale donne la résistance effective. On peut voir que c'est la somme des valeurs individuelles, dans la limite de l'erreur de mesure.

2.3.6 Discussion

Les très fortes résistances ($\> 10^9\Omega$) sont souvent réalisées à l'aide d'associations en série.

2.4 Résistances en parallèle

2.4.1 Objectif

Trouver la résistance équivalente à une association de résistances en parallèle.

2.4.2 Théorie

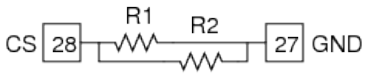
Pour les associations en parallèle, la résistances effective est donnée par la relation :

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \cdots$

2.4.3 Matériel

Deux résistances de 1kΩ

2.4.4 Procédure



- Connecter une résistances de 1 kΩ entre CS et la masse [Ground].
- Fixer le courant à 1 mA (0,001 A) et prendre note de la tension affichée à CS.
- Répéter la même chose avec deux résistances connectées en parallèle.

2.4.5 Observation

$R_{connectee}(\Omega)$	$U_{mesuree}(V)$
1000	1,008
1000 ‖ 1000	0,503

Comme nous connaissons le courant, à partir des tensions mesurées, nous pouvons calculer la résistance. Selon la tension mesurée la résistance de l'association en parallèle est $\frac{0.503\,V}{0.001\,A} = 503\,\Omega$

2.4.6 Discussion

Pour quelles raisons voudrait-on connecter des résistances en parallèle ?

2.5 Mesure de résistance par comparaison

2.5.1 Objectif

Apprendre à appliquer la Loi d'Ohm pour trouver la valeur d'une résistance inconnue en la comparant avec une résistance connue.

2.5.2 Théorie

La tension aux bornes d'une résistance est donnée par $U = RI$. Si le courant qui traverse deux résistances est le même, alors le quotient des tensions sera le même que le quotient des résistances.

$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$

2.5.3 Matériel

Une résistance de référence de 1 kΩ et quelques autres résistances. (valeurs entre 100 Ω et 10 kΩ)

2.5.4 Procédure

- Connecter la résistance inconnue entre UPV et A2.[2]
- Connecter la résistance de 1 kΩ (R_2) entre A2 et la masse [Ground].
- Fixer UPV à 4 V.
- Mesurer la tension en A2.

2.5.5 Observation

La tension en A2 = 1,244 V, ce qui implique que la tension aux bornes de la résistance inconnue est $4 - 1,244 = 2,756V$

Le courant est $I = \frac{1,244}{1000} = 1,244mA$

La valeur de la résistance inconnue est $R_1 = \frac{2,756}{1,244} = 2,215\,k\Omega$

2.5.6 Discussion

Quelle est la limite de cette méthode ? Comment choisit-on la résistance de référence ? supposons que la valeur inconnue soit en méga-ohm, quel serait la chute de tension dans une résistance de référence de 1 kΩ ? Notre mesure de tension possède une résolution de $\frac{1}{4095}$.

Nous utiliserons cette méthode plus tard pour mesurer la résistance de solutions.

2.6 Tension d'une pile au citron

2.6.1 Objectif

Créer une source de tension. En apprendre sur la possibilité de générer du courant. Concept de résistance interne.

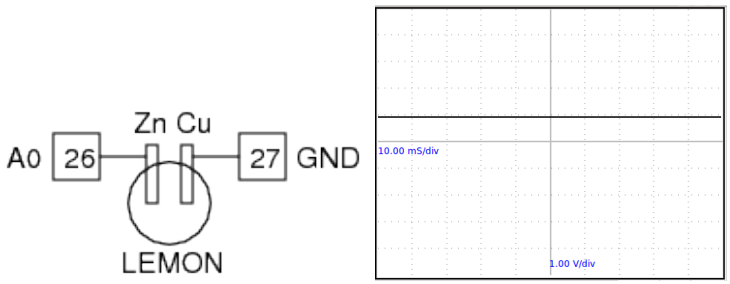
[2] On utilise A2 quand la tension est comprise entre 0 et 5 V.

2.6.2 Matériel

- Un citron mur (ou un acide quelconque), des plaques fines de zinc et de cuivre.
- Une résistance de 1 kΩ.

2.6.3 Procédure

Figure 2.3: (a) des plaques de zinc et de cuivre insérées dans un citron. (b) La tension continue produite par la pile.



- Insérer les plaques de zinc et de cuivre dans le citron.
- Connecter une plaque à la masse [Ground] et l'autre à A0, à l'aide de deux fils électriques.
- Connecter la résistance entre A0 et la masse [Ground].

2.6.4 Observation

La tension entre le cuivre et le zinc sera d'environ 0,9 V. Quand on connecte la résistance, celle-ci diminue jusqu'à environ 0,33 V.

Quelle est la résistance interne de la pile ?

2.6.5 Discussion

Quand la résistance est connectée, le courant commence à circuler par elle. Mais pourquoi la tension diminue-t-elle ?

Ça ne se produit pas avec une pile sèche neuve. Pourquoi ?

Le courant est causé par le mouvement de charges électriques et il doit faire le tour complet. Cela signifie que le courant doit traverser la pile aussi. Selon la résistance interne de la pile, une part de la tension est perdue à l'intérieur de la pile elle-même.

Une source de tension idéale devrait posséder une résistance interne nulle.

2.7 Tension variable dans le temps

2.7.1 Objectif

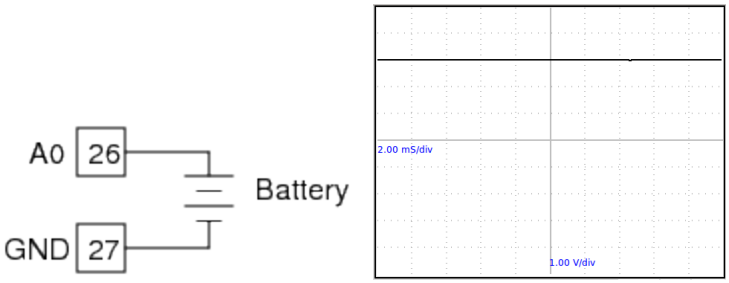
Introduire le concept de tensions dépendant du temps, à l'aide d'un graphique U(t).

2.7.2 Matériel

- Piles sèches de tensions 1,5 V
- Support de piles avec fils de connexion.

2.7.3 Procédure

Figure 2.4: Graphique d'une tension continue en fonction du temps



- Connecter le négatif de la pile sèche à la masse [Ground].
- Borne positive de la pile en A0.
- Observer le graphique dans la partie droite de la fenêtre.

2.7.4 Observation

Une ligne horizontale apparaît sur le graphique, le temps est sur l'axe des abscisses et la tension est sur l'axe des ordonnées.

2.7.5 Discussion

La tension est constante dans le temps. Une pile est une source de tension continue. Un autre type de tension est nommé tension alternative, elle change de valeur et de signe dans le temps.

2.8 Tension alternative

2.8.1 Objectif

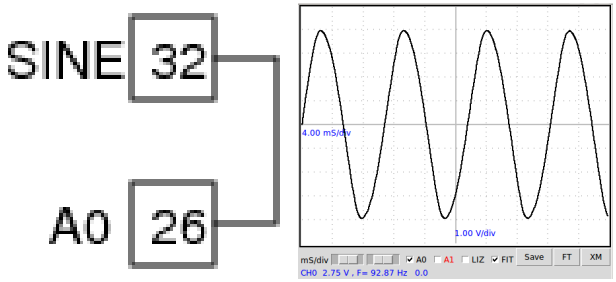
En apprendre un peu au sujet de la tension alternative, à l'aide de graphiques. Se familiariser avec la forme d'onde sinusoïdale.

2.8.2 Matériel

- Un bout de fil électrique.

2.8.3 Procédure

Figure 2.5: Forme de l'onde de tension alternative issue de SIN



- Connecter SIN à A0.
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir 4 ou 5 périodes.
- Activer la case à cocher FIT.

2.8.4 Observation

La forme d'onde est montrée à la figure 2.5. Activer l'option FIT pour calculer l'amplitude et la fréquence en modélisant les données à l'aide de l'équation $U = U_0 \sin(2\pi f t + \theta)$, où U_0 est l'amplitude et f est la fréquence.

2.8.5 Discussion

La tension change avec le temps. Elle devient tantôt positive tantôt négative. Une période complète dure environ 12 milli-secondes, c'est à dire environ 90 périodes par seconde ou 90 Hz. Cette forme d'onde de tension est générée par des circuits électroniques.[3]

[3] La fréquence de la sortie SIN est proche de 90 Hz. Ses variations sont dues à la tolérance de 20% sur les valeurs des condensateurs qui décident de la fréquence.

La tension d'alimentation du secteur dans nos maisons a une fréquence de 50 Hz.

Quelle est la signification de θ dans l'équation ci-dessus ?

2.9 Influence d'une tension alternative

2.9.1 Objectif

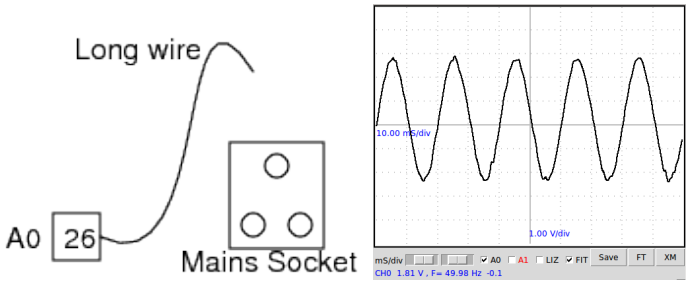
En apprendre un peu au sujet de la tension alternative du secteur. Explorer le phénomène de propagation de tensions alternatives à travers l'espace.

2.9.2 Matériel

- Un bout de fil électrique long.

2.9.3 Procédure

Figure 2.6: Influence d'un câble électrique connecté au secteur



- Connecter une extrémité du fil électrique en A0.
- Placer l'autre extrémité du fil électrique près d'un câble électrique relié au secteur (ne jamais toucher le câble) et changer l'orientation du fil jusqu'au moment où on a un bon signal sur l'écran.
- Ajuster l'échelle horizontale à 10 milli-secondes par division.
- Activer la case à cocher≪ FIT ≫.

2.9.4 Observation

La forme de tension observée est montrée à la figure 2.6. La fréquence calculée par modélisation des données est 49,65 Hz

2.9.5 Discussion

Sans réaliser aucun branchement, comment se fait-il qu'on récupère une tension alternative depuis le secteur ? Faire cette expérience avec un ordinateur portable situé loin des lignes de courant du secteur.

Est-ce similaire aux radiations d'un téléphone cellulaire ?

Pourquoi la fréquence diffère-t-elle de 50 Hz ?

Nous observons la tension reçue par influence par le fil électrique, qui agit comme un antenne captant la radiation à 50 Hz issue du câble du secteur. Quand on touche le bout flottant du fil électrique on augmente le signal, parce qu'on fait alors partie de l'antenne. La fréquence f est calculée en modélisant les données recueillies par l'équation $U = U_0 \sin(2\pi ft + \theta)$.

Essayez de faire les mesures durant la journée et à minuit pour comparer les fréquences mesurées. Elles dépendent de la charge du réseau électrique. Si la distribution de l'énergie électrique est vraiment bonne, la fréquence restera constante[4].

2.10 Composantes continue et alternative d'une tension

2.10.1 Objectif

En apprendre un peu au sujet des composantes continue et alternative d'une tension dépendante du temps. Séparer les composantes continue et alternative à l'aide d'un condensateur.

2.10.2 Matériel

- condensateur de $1\mu F$, résistance de 10 kΩ

2.10.3 Procédure

- Connecter SQR1 à A0 à l'aide d'un fil électrique.
- Entrer 500 dans la boîte texte de SQR1 et appuyer sur la touche ¡Entrée>.
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plusieurs périodes.
- Insérer un condensateur de 1 μF entre SQR1 et A0
- Connecter une résistance de 10 kΩ entre A0 et la masse [Ground].

[4]N.d.T. :En Inde où ExpEYES a été conçu, les usines de production d'électricité cherchent à asservir la fréquence f à la valeur 50 Hz. Il y a donc toujours une petite différence entre la fréquence f et la valeur de référence 50 Hz. En Europe, les usines cherchent plutôt à asservir la phase θ en utilisant une source de fréquence commune (f=50 Hz). Cette dernière méthode donne une plus grande stabilité de la fréquence.

Figure 2.7: (a) Tension oscillant entre 0 et 5 V

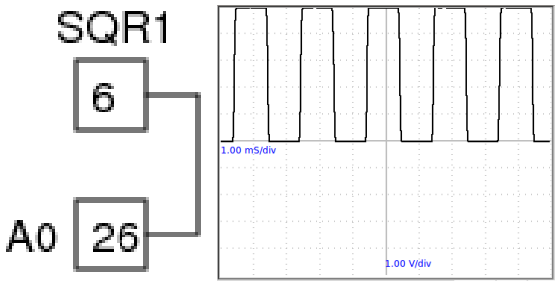
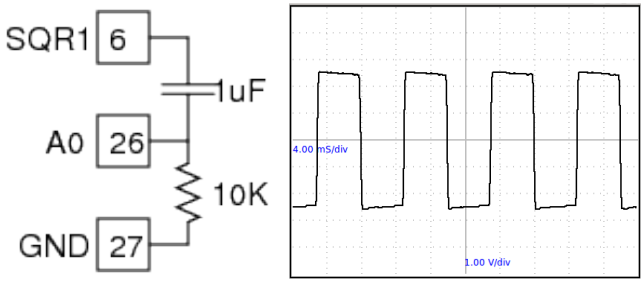


Figure 2.8: (b) Après traversée d'un condensateur



2.10.4 Observation

Les formes d'ondes observées avec et sans le condensateur en série sont montrées à la figure 2.7. La tension oscille entre 0 et 5 V. Après avoir traversé le condensateur, la tension oscille entre -2,5 V et +2,5 V.

2.10.5 Discussion

Qu'obtiendrez-vous si vous faisiez la soustraction de 2,5 V de la coordonnée-y de chaque point du premier graphique ? C'est ce que le condensateur a réalisé. Il s'est opposé au passage de la composante en tension continue.

La tension d'origine peut être considérée comme la superposition de d'une tension alternative de 5 V (crête à crête) et d'une tension continue de 2,5 V.

Il se peut qu'on doive connecter une résistance de 10 kΩ entre A0 et la masse [Ground] pour voir un signal oscillant entre-2,5 et +2,5 V.

Pourquoi cette résistance est-elle nécessaire ?

2.11 Résistance du corps humain

2.11.1 Objectif

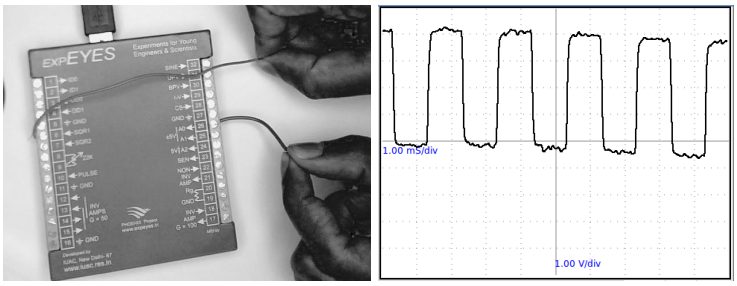
Avoir une idée de la résistance de la peau humaine, et savoir comment elle varie.

2.11.2 Matériel

- Deux bouts de fil électrique.

2.11.3 Procédure

Figure 2.9: Tension après passage dans la main.



- Connecter un bout d'un fil à SQR1, laisser l'autre bout en l'air
- Connecter un bout du second fil électrique à A0.
- Fixer SQR1 à 500.
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plusieurs périodes.
- Tenir les extrémités libres des fils électriques entre vos doigts.
- Répéter la même chose en utilisant SINE au lieu de SQR1.

2.11.4 Discussion

En utilisant la méthode de comparaison, essayez de calculer la résistance de la portion de main entre les deux fils, quand vous les tenez. La résistance de référence est $10M\Omega$, connectée en interne entre A0 et la masse.

2.12 Résistances dépendantes de la température

2.12.1 Objectif

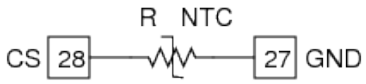
Montrer la dépendance de la résistance en fonction d la température. Concept de base d'un capteur de température.

2.12.2 Matériel

- Thermistance (NTC)[5]. Résistance 1 $k\Omega$ à 25° Celsius.
- De l'eau froide
- Une bougie ou une autre source de chaleur.

2.12.3 Procédure

Figure 2.10:



- Connecter la thermistance (NTC) entre CS et la masse [Ground]
- Fixer CS à $1,0\ mA$
- Mesurer la tension aux bornes de la thermistance à diverses températures.

2.12.4 Observation

Réglage	$U = RI$	$R = \frac{U}{I}$
Dans l'eau froide	$1,2\ V$	1200 Ω
À température ambiante	$0,935\ V$	935 Ω

2.12.5 Discussion

Pour quelle raison les matériaux ont-ils une résistance électrique ?

Pourquoi dépend-elle de la température ?

Pour les métaux, R augmente avec T. Mais pour les isolants et les semi-conducteurs elle diminue. Pourquoi ?

Quelle est la signification de la température au niveau moléculaire ?

[5]en anglais : Negative Temperature Coefficient

2.13 Résistances dépendant de la lumière

2.13.1 Objectif

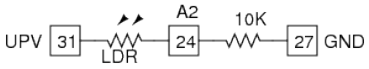
En apprendre un peu au sujet de la photo-résistance LDR. Mesurer l'intensité de la lumière et sa variation avec la distance à la source.

2.13.2 Matériel

- Une photo-résistance, LDR
- Une résistance de 10 $k\Omega$
- Une ampoule de lampe-torche sans aucun réflecteur.

2.13.3 Procédure

Figure 2.11:



- Connecter la LDR entre UPV et A2
- Fixer UPV à 4 V.
- Résistance de 10 $k\Omega$ entre A2 et la masse [Ground]
- Mesurer la tension en A2, sans lumière sur la LDR.
- La mesurer en plaçant l'ampoule allumée à une certaine distance[6].
- Changer la distance et prendre note de la tension en A2.
- Calculer la résistance par comparaison comme décrit à la section 2.5.

2.13.4 Observation

La résistance varie de 1 $k\Omega$ à environ 100 $k\Omega$ selon la lumière qui lui arrive.

2.13.5 Discussion

La tension est proportionnelle à la résistance. La résistance diminue quand la lumière augmente. Si vous utilisez une source de lumière ponctuelle, la résistance devrait augmenter comme le carré de la distance.

[6] À faire dans une pièce sombre

2.14 L'électricité traversant les liquides, en courant continu et alternatif

2.14.1 Objectif

Mesurer la résistance de liquides, en utilisant des tensions continues et alternatives.

2.14.2 Matériel

- Un bécher de 100 mL
- Du sel de cuisine
- Une résistance de 10 $k\Omega$

2.14.3 Procédure

Figure 2.12: (a) Montage expérimental. (b) Tension continue totale et tension à travers la résistance de 1 $k\Omega$.

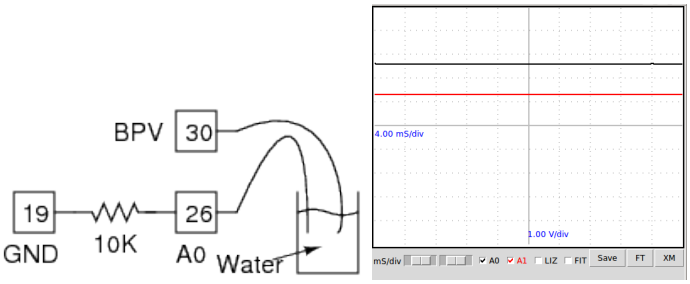
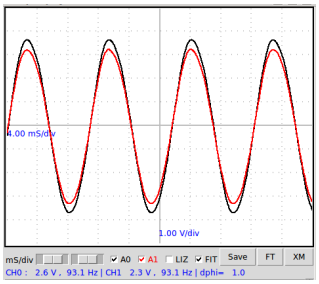


Figure 2.13: Tension alternative totale et tension à travers la résistance de 1 $k\Omega$.



- Mettre de l'eau du robinet dans le bécher

- Connecter un fil électrique à BPV et placer l'autre extrémité dans le bécher
- Un autre fil électrique entre A0 et l'eau
- Connecter la résistance de 10 $k\Omega$ entre A0 et la masse [Ground]
- Régler 2,8 V en BPV et observer la valeur en A0[7].
- Essayez de changer BPV de $+2,8\ V$ en $-2,8\ V$ observez la trace horizontale sur l'oscillogramme.
- Répétez l'expérience en utilisant SINE au lieu de BPV
- Calculer la résistance comme expliqué dans la section 2.5.

2.14.4 Observation

	U_{total}	$U_{10k\Omega}$	U_{liq}	$I = \frac{U_{10k\Omega}}{1000}$	$R_{liq} = \frac{U_{liq}}{I}$
Courant alternatif	$2,6\ V$	$2,3\ V$	$0,3\ V$	$0,23\ mA$	$1,3\ k\Omega$
Courant continu	$2,6\ V$	$1,3\ V$	$1,3\ V$	$0,13\ mA$	$10\ k\Omega$

Des valeurs observées sont montrées dans le tableau[8]. Les résistances en courant alternatif et en courant continu apparaissent comme très différentes. Cependant, quand vous changerez la polarité de BPV, la valeur dans la résistance reste proche de de la valeur en courant alternatif pendant un moment et diminue ensuite. Ça indique que la résistance du liquide augmente avec le temps, par exemple à cause de la formation de bulles.

2.14.5 Discussion

Pourquoi le comportement est-il différent en continu et en alternatif ?

Quels sont les porteurs de charges responsables du passage de l'électricité à travers les solutions ?

Y a-t-il une réaction chimique qui se produit ?

Essayez d'ajouter un peu de sel et recommencez les mesures.

2.15 Réponse transitoire de circuits RC

2.15.1 Objectif

Dans la section 2.10, nous avons vu qu'un condensateur bloque le courant continu mais laisse le courant alternatif passer. Dans cette expérience, nous allons explorer la nature du courant et de la tension quand on applique un échelon de tension. En mesurant la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps, on peut calculer la valeur de sa capacité.

[7] Si la tension est trop basse utiliser une résistance supérieure à 10 $k\Omega$, sinon en utiliser une inférieure

[8] Le valeurs que vous obtenez peuvent être très différentes selon la la concentration des ions et la présence d'impuretés dans l'eau utilisée.

2.15.2 Théorie

La tension aux bornes d'un condensateur qui se charge à travers une résistance est donnée par la relation :

$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$

La tension aux bornes d'un condensateur quand il se décharge à travers une résistance est donnée par la relation :

$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

2.15.3 Matériel

- Un condensateur de $1\,\mu F$ et une résistance de $1\,k\Omega$.

2.15.4 Procédure

Figure 2.14: Réponse transitoire d'un circuit RC.

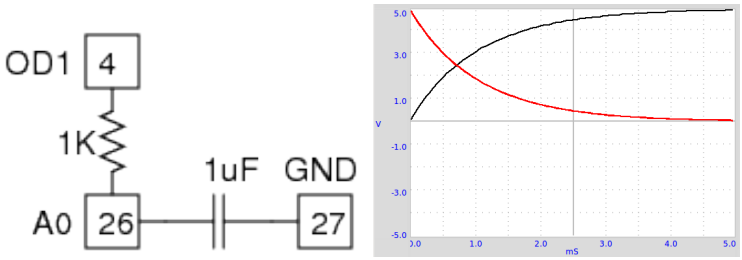
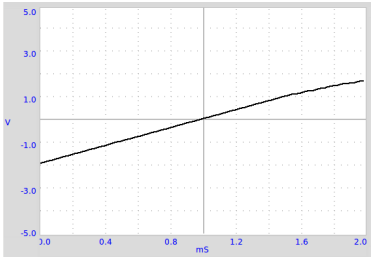


Figure 2.15: Ce dernier graphique représente la charge d'un condensateur par une source de courant constant.



- Connecter le condensateur entre A0 et la masse [Ground]
- Connecter la résistance entre A0 et OD1.

- Faire un clic droit sur le tableau de bord et sélectionner **`Circuit RC`**depuis le menu contextuel
- Cliquer sur les boutons $\boxed{0\rightarrow 5\text{V STEP}}$ et $\boxed{5\rightarrow 0\text{V STEP}}$ pour tracer les graphiques
- Ajuster l'échelle horizontale si nécessaire et recommencer.
- Modéliser $\boxed{\text{FIT}}$ la courbe pour extraire la constante de temps RC.

2.15.5 Observation

Quand on applique un échelon de tension de 0 à 5 V, cela fait monter la tension exponentiellement aux bornes du condensateur comme montré sur la figure 2.14. En modélisant le graphique on peut extraire la constante de temps RC et en déduire la valeur de la capacité du condensateur.

Cette expérience peut être étendue pour mesurer la constante diélectrique de matériaux en fabriquant des condensateurs avec ceux-ci. Pour obtenir le graphique représenté en 2.15, connecter R entre CS et A0, C entre OD1 et A0, réglez CS à 1 mA et cliquer sur $\boxed{5\rightarrow 0\text{V}}$.

2.15.6 Discussion

Pourquoi le graphique est-il exponentiel ?

Un condensateur est fait de deux plaques en métal séparées par une fine couche de matériau diélectrique. Nous avons connecté une plaque (appelons-la plaque A) à la masse et l'autre plaque (appelons-la B) à OD1 à travers une résistance. La connexion à A0 sert à enregistrer la tension.

Initialement les deux plaques sont à zéro volt. En cliquant sur $\boxed{0\rightarrow 5\text{V}}$, nous portons OD1 à 5 V. Un courant commence à passer à travers la résistance vers la plaque B, à cause de la différence de potentiel créée. Ce courant (flux de charge électrique) va résulter en une accumulation de charge électrique sur la plaque B. La tension en B sera donnée par $U = Q/C$, où C désigne la capacité et Q désigne la charge électrique. Comme de plus en plus de charges électriques arrivent, la tension en B va augmenter. Mais, selon la loi d'Ohm, le courant dans la résistance R est décidée par la différence de potentiel à ses bornes. Cela signifie que le courant va décroître progressivement et arriver à zéro quand la tension en B devient 5 V. Le temps de ce processus est décidé par le produit RC, et donné par la relation :

$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$

Le produit RC est nommé la constante de temps du circuit[9]

[9]http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/capchg.html

2.16 Réponse transitoire de circuits RL

2.16.1 Objectif

Explorer la nature de la tension et du courant quand un échelon de tension est appliqué à une résistance et un bobinage en série. En mesurant la tension aux bornes du bobinage en fonction du temps, nous pouvons calculer la valeur de son inductance.

2.16.2 Théorie

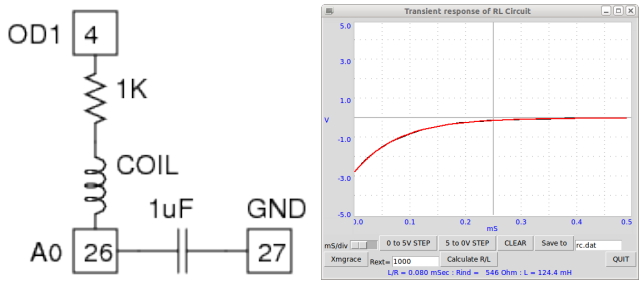
Dans un circuit RL, $U = RI + L\frac{dI}{dt}$. La solution de cette équation est $I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$. Le coefficient du terme exponentiel R/L peut être déduit du graphique de la tension aux bornes du bobinage. Il faut inclure la résistance du bobinage dans les calculs, $R = R_{ext} + R_L$[10]

2.16.3 Matériel

- Résistance de 1 $k\Omega$.
- Bobinage 3000 tours et noyau en ferrite

2.16.4 Procédure

Figure 2.16: Tension aux bornes du bobinage après un échelon de tension de 5 à 0V.



- Connecter le bobinage 3000 tours entre A0 et la masse [Ground].
- Connecter la résistance entre A0 et OD1.
- Connecter un fil électrique entre OD1 et A2 (pour une mesure précise de la tension totale)

[10] http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/esc102/node14.html.

- Faire un clic droit sur le tableau de bord et sélectionner `Circuit RL` dans le menu contextuel
- Cliquer sur les boutons [0→5V STEP] et [5→0V STEP] pour tracer les graphiques
- Ajuster l'échelle horizontale, si nécessaire, et recommencer.
- Calculer la valeur de l'inductance.
- Recommencer en insérant le noyau de ferrite. Recommencer avec d'autres bobinages.

2.16.5 Observation

La tension aux bornes du bobinage juste après une échelon de 5 V à 0 V est montré à la figure 2.16. La courbe exponentielle est modélisée pour en déduire la valeur de L/R. La résistance de la bobine est mesurée en la comparant à la résistance externe connue en courant continu. Les inductances mesurées sont dans le tableau ci-dessous.

Bobinage	**Inductance** (mH)	**Résistance** (Ω)
3000 tours	126	565
1000 tours	4,7	42
1000 tours/ferrite	25	42

2.16.6 Discussion

Les tension appliquées sont positives, mais le graphique a donné des tensions négatives. Pourquoi ?

Quel était le courant juste avant l'échelon de tension 5 $V \rightarrow 0$ V ? Quelle est la f.e.m. ?

2.17 Réponse transitoire de circuits RLC

2.17.1 Objectif

Les réponses de circuits RC et RL ont été étudiées dans les sections précédentes. Nous allons maintenant explorer la nature oscillante du signal obtenu en connectant L et C en série.

2.17.2 Théorie

La fréquence de résonance d'un circuit se déduit de $\omega_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, Le facteur d'amortissement est $\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$, il vaut 1 pour l'amortissement critique[11]

[11] http://en.wikiversity.org/wiki/RLC_circuit.

2.17.3 Matériel

- Condensateur de $0,1\ \mu F$
- Bobinages de 3000 et 1000 tours
- Noyau de ferrite

2.17.4 Procédure

Figure 2.17: Réponse transitoire d'un circuit RLC. (a) Le montage (b) Résultat avec un bobinage sans noyau

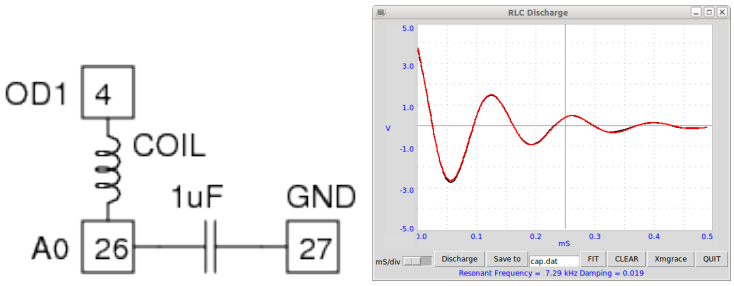
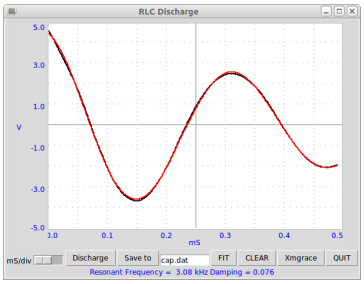
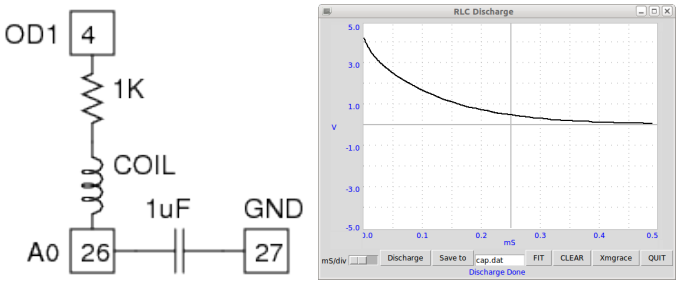


Figure 2.18: Résultat avec un noyau en ferrite.



- Connecter le bobinage entre OD1 et A0
- Condensateur entre A0 et la masse [Ground]
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et sélectionner **`Décharge RLC`** dans le menu contextuel.
- Cliquer sur Discharge. Ajuster l'axe des x et recommencer si nécessaire.

Figure 2.19: Réponse RLC avec une résistance en série de $1k\Omega$ qui ajoute un amortissement.



- Modéliser le graphique (FIT) pour trouver la fréquence de résonance et l'amortissement.

- Recommencer l'expérience avec le noyau de ferrite inséré.

- Recommencer avec une résistance de 1 $k\Omega$ en série.

2.17.5 Observation

Les mesures ont été faites à l'aide de la bobine de 1000 tours, et avec la bobine de 3000 tours. Les résultats sont dans le tableau ci-dessous. Le condensateur et les bobinages ont été mesurés pour leurs capacités et inductances par un RLC-mètre.

C (μF)	L (mH)	$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$	$f_{mesuree}(Hz)$
0,097	3,57	8552	8430
0,097	23,2	3354	3400
0,097	125	1445	1400

2.17.6 Discussion

Le signal est oscillant, il faut ajuster la résistance à $R = \sqrt{\frac{4L}{C}} = \sqrt{\frac{4\times 23.2e-3}{.097e-6}} = 963\,\Omega$ pour obtenir l'amortissement critique. Le résultat avec une résistance en série de 1 $k\Omega$ est montré dans la figure 2.19.

Pourquoi le signal a-t-il augmenté d'amplitude après l'insertion du noyau en ferrite ?

2.18 Condensateur dans des circuits en courant alternatif

2.18.1 Objectif

Explorer l'effet d'un condensateur en série dans des circuits en courant alternatif, dans des conditions de régime permanent.

2.18.2 Théorie

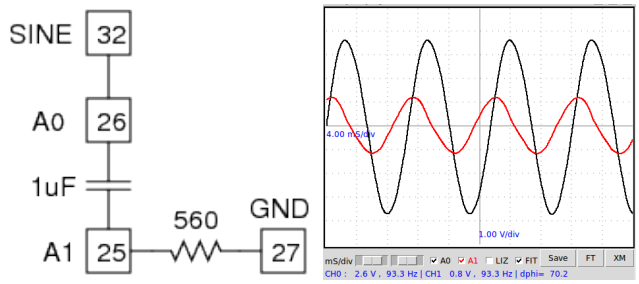
L'impédance d'un condensateur est $Z_c = \frac{1}{2\pi f C}$, où f est la fréquence en hertz et C est la capacité en farad. Souvenez-vous du fonctionnement d'un condensateur déjà vu à la section 2.15.

2.18.3 Matériel

- Condensateur de 1 μF
- Résistance de 560Ω
- Un voltmètre, si vous voulez mesurer la tension aux bornes des éléments non directement connectés à la masse.

2.18.4 Procédure

Figure 2.20: Copie d'écran montrant la tension totale aux bornes d'un circuit RC et la tension aux bornes du condensateur. $C = 1\ \mu F$ et $R = 560\Omega$.



- Connecter un fil électrique entre SINE et A0
- Connecter le condensateur entre A0 et A1
- Connecter la résistance entre A1 et la masse [Ground].
- Activer A1 aussi. Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 périodes.
- Activer FIT pour afficher la tension efficace (RMS), la fréquence, etc.

2.18.5 Observation

Le signal d'entrée et la tension aux bornes de la résistance 2.20. La tension aux bornes du condensateur est calculable à l'aide de la loi d'Ohm, on peut aussi le mesurer à l'aide d'un voltmètre.

La somme des deux tensions semble supérieure à la tension totale appliquée à l'association.

La loi d'Ohm est-elle violée ?

Quelle erreur fait-on quand on additionne les tensions efficaces ?

V_{Tot}	U_R	$I = \frac{U_R}{R}$	$U_c = Z_c I$	$U_R + U_c$
2,6	0,8	0,0014	2,4	3,2

$Z_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 93.6 \times 1e-6} = 1712\,\Omega$
$U_c = Z_c I = 1712 \times 0,0014$

2.18.6 Discussion

On doit prendre en compte le déphasage introduit par le condensateur[12]. Voir la section suivante.

2.19 Déphasage dans des circuits RC en courant alternatif

2.19.1 Objectif

Mesurer le déphasage aux bornes d'un condensateur dans un circuit RC en courant alternatif.

2.19.2 Théorie

Dans un circuit RC, le déphasage aux bornes du condensateur est donné par l'équation $\triangle\Phi = \arctan\left(\frac{Z_c}{R}\right)$, où R est la résistance et Z_C est l'impédance du condensateur.

2.19.3 Matériel

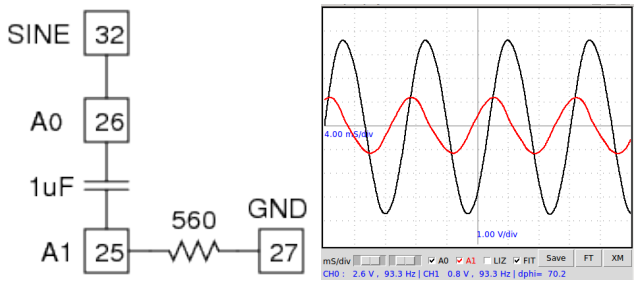
- Condensateur de 1 μF
- Résistance de 560 Ω (essayer aussi d'autres valeurs)

2.19.4 Procédure

- Connecter un fil électrique entre SINE et A0
- Connecter le condensateur entre A0 et A1

[12] http://www.play-hookey.com/ac_theory/ac_rc_series.html.

Figure 2.21: Copie d'écran montrant le déphasage pour $R = 560\ \Omega$ et $C = 1\ \mu F$.



- Connecter la résistance entre A1 et la masse [Ground].
- Activer A1 aussi. Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 périodes.
- Activer FIT pour montrer la tension efficace (RMS), la fréquence et le déphasage [Phase difference].

2.19.5 Observation

Les déphasages mesurés sont dans le tableau ci-dessous. Les connexions et les signaux sont montrés à la figure 2.21.

$C(\mu F)$	$R(k\Omega)$	$Fréq(Hz)$	$\triangle\Phi$	$\arctan\left(\frac{Z_c}{R_R}\right)$
1	560	93	71,3	71,9°

où $Z_c = \frac{1}{2\pi f C}$ est l'impédance du condensateur à la fréquence 93 Hz. Z_R est la résistance.

Le courant qui traverse un condensateur est déphasé par rapport à la tensions à ses bornes de 90°. Pourquoi ?

2.19.6 Discussion

Pourquoi la phase de la tension est-elle en avance ? Admettons que nous avons connecté le courant alternatif à la plaque A à l'instant $t = t_0$ où la tension d'alimentation est nulle. Nous pouvons voir que la pente de la courbe est maximale là, c'est à dire que le taux de changement de la tension est maximal. Le condensateur est chargé très vite à ce moment-là. La plaque B récolte aussi la même charge que la plaque A, c'est ainsi que fonctionne une condensateur. Le courant vers la plaque B circule depuis la masse à travers une résistance et nous mesurons la chute de tension ohmique RI aux bornes de la résistance, celle-ci sera déjà positive alors que la plaque A est à zéro volt. Le résultat est une avance de phase.

2.20 Déphasage dans des circuits RL en courant alternatif

2.20.1 Objectif

Mesurer le déphasage dans un circuit RL en courant alternatif.

2.20.2 Théorie

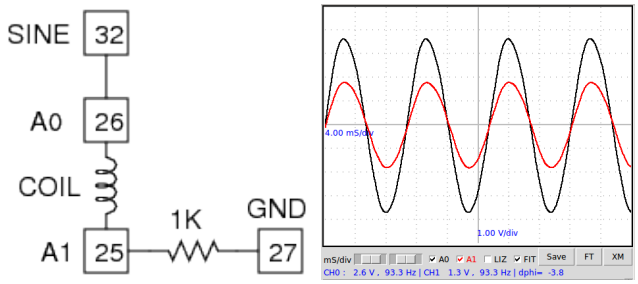
L'impédance d'un inducteur pur est $Z_L = 2\pi f \cdot L$, où f est la fréquence en hertz et L est l'inductance en henry. Dans un circuit LC, le déphasage aux bornes d'un inducteur pur est donné par l'équation $\triangle\Phi = \arctan\left(\frac{Z_L}{R}\right)$, où R est la résistance en ohm.

2.20.3 Matériel

- Un bobinage, utiliser les solénoïdes fournis.
- Résistances de 560 Ω et 1 $k\Omega$

2.20.4 Procédure

Figure 2.22: Circuit RL en régime sinusoïdal. Déphasage aux bornes du bobinage.



- Connecter un fil électrique entre SINE et A0
- Connecter le bobinage entre A0 et A1
- Connecter la résistance de 1000 Ω entre A1 et la masse [Ground].
- Activer A1 aussi. Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 périodes.
- Activer FIT pour montrer la tension efficace [RMS], la fréquence et le déphasage [Phase difference].

2.20.5 Observation

Les déphasages mesurés sont montrés ci-dessous. Les signaux pour le bobinage de 125 mH sont montrés dans la figure 2.22. Il faut aussi prendre en compte la résistance du bobinage en calculant le déphasage.

$L(mH)$	$R = R_{bob} + R_{ext}(\Omega)$	$\triangle\Phi = \arctan\left(\frac{Z_L}{Z_R}\right)$	$\triangle\Phi_{mesure}$
125	565 + 560	3,71	-3,8
25	42 + 560	1,39	-1,4

Le courant dans un inducteur pur a un retard de phase de 90°[13]

2.20.6 Discussion

Si on ne connaît pas la valeur de l'inductance d'un bobinage, on peut utiliser cette expérience pour la déterminer à partir du déphasage observé avec une valeur de résistance connue.

2.21 Matériau ferromagnétique dans un bobinage

2.21.1 Objectif

Observer l'effet de matériaux ferromagnétiques ajoutés dans un solénoïde.

2.21.2 Théorie

L'auto-inductance, ou inductance tout court [Self Inductance] d'un solénoïde est donnée par $L = \frac{\mu N^2 A}{l}$, où N est le nombre de tours, A est l'aire de la section, μ est la perméabilité du matériau environnant et l est la longueur.

2.21.3 Matériel

- Bobinage 1000 tours
- Résistance de 1 $k\Omega$ (on peut aussi utiliser d'autres valeurs)

2.21.4 Procédure

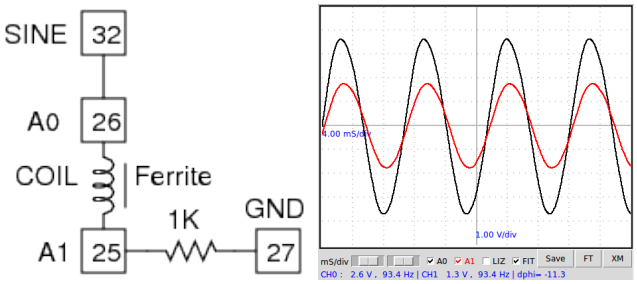
- Connecter comme expliqué à la section 2.20
- Insérer un noyau de ferrite dans la bobine et observer les changements
- Recommencer avec la bobine de 3000 tours.

2.21.5 Observation

Le déphasage augmente de 3,7° à 11,6° à l'insertion du noyau de ferrite.

[13] http://www.play-hookey.com/ac_theory/ac_inductors.html. .

Figure 2.23: Circuit RL. Effet du noyau en ferrite.



2.21.6 Discussion

Le déphasage est passé de 3,7° à 11,6°, soit une augmentation de 3 environ de l'inductance. Cependant, dans ce cas il faux de supposer que la perméabilité du noyau est 3. Pourquoi ? (examinez la géométrie).

2.22 Intégration et différentiation RC

2.22.1 Objectif

Intégrer et différentier un signale carré à l'aide d'un circuit *RC*.

2.22.2 Théorie

Figure 2.24: Intégrateur *RC*

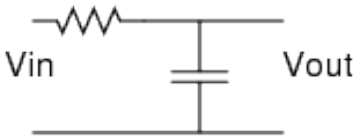


Figure 2.25: Différentiateur *RC*

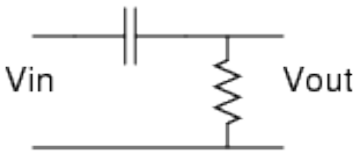


Figure 2.26: Signal carré, intégré et différentié.



Pour le circuit présenté à la figure 2.24
$V_{sortie} = \frac{1}{RC} \int V_{entree} dt$
et pour ce lui présenté à la figure 2.25
$V_{sortie} = RC \frac{dV_{entree}}{dt}$
Les figures 2.24 et 2.25 montrent un signal carré, et ses contreparties intégrée et différentiée. On comprend facilement comment le signal triangulaire est différentié deux fois. La pente positive constante du signal triangulaire donne la partie positive du signal carré. Quant on différentie le signal carré on obtient les pics aux fronts montants et descendants. Ce sont des cas idéaux.

2.22.3 Matériel

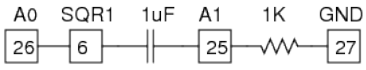
- Condensateur de 1 μF
- Résistance de 1 $k\Omega$

2.22.4 Procédure

Figure 2.27:



Figure 2.28:



- Connecter un fil électrique entre SQR1 et A0

- Connecter R entre SQR1 et A1
- Connecter C entre A1 et la masse [Ground].
- Activer A1. Ajuster l'échelle horizontale pour voir plus de 4 périodes.
- Fixer SQR1 à 20 Hz, 100 Hz et 1 kHz et observer les signaux.
- Échanger les positions de R et C et observer la différentiation.
- Cliquer sur le bouton FT pour voir une transformée de Fourier.

2.22.5 Observation

Figure 2.29: Intégration à 20 Hz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$

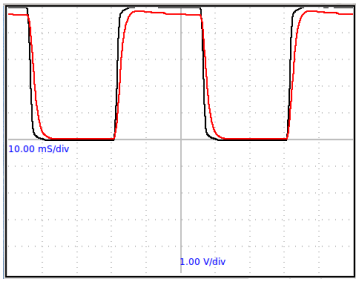
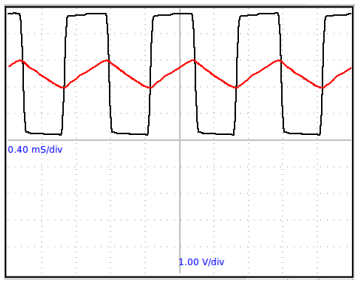
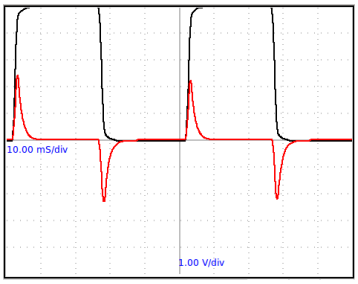


Figure 2.30: Intégration à 1 kHz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$



Les intégrations observées à 20 Hz et 1 kHz sont montrées dans les figures 2.29 et 2.30, en utilisant une base de temps RC de 1 milliseconde. À 20 Hz, le signal carré traverse le condensateur avec une faible distorsion.

Figure 2.31: Différentiation à 20 Hz. $R = 1\ k\Omega$ et $C = 1\ \mu F$



2.22.6 Discussion

Quand la période devient comparable avec la valeur de RC, la forme du signal devient triangulaire. La différentiation ne peut être montrée qu'à basse fréquence car la capture du pic étroit de tension nécessite une oscilloscope rapide.

2.23 Analyse de Fourier

2.23.1 Objectif

Étudier la transformée de Fourier d'un signal, les représentations temporelle et fréquentielle.

2.23.2 Matériel

- Un bout de fil électrique.

2.23.3 Procédure

- Connecter SINE à A0
- Ajuster l'échelle horizontale pour voir plusieurs périodes.
- Cliquer sur FT pour faire une transformation de Fourier

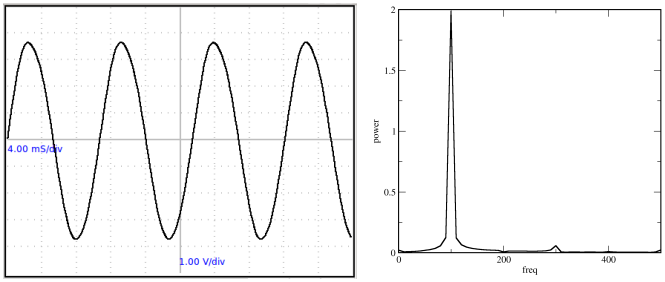
2.23.4 Observation

Le signa sinusoïdal et sa transformée de Fourier sont montrés dans la figure 2.32.

2.23.5 Discussion

L'affichage d'origine (a) montre l'amplitude en fonction du temps, et il s'appelle donc représentation temporelle du signal. Dans le graphique de la transformée

Figure 2.32: (a) Signal sinusoïdal. (b) Sa transformée de Fourier.



de Fourier, la fréquence est sur l'axe-x et l'ordonnée représente la puissance relative de composantes fréquentielles du signal. Ceci s'appelle la représentation fréquentielle du signal[14] Dans ce cas il n'y a qu'un pic principal. Le petit pic à la fréquence triple est une mesure de la distorsion de notre signal sinusoïdal.

2.24 Harmoniques composant un signal carré

2.24.1 Matériel

- Un bout de fil électrique.

2.24.2 Procédure

- Connecter la borne 6 (SQR1) à la borne 26 (A0)
- Entrer 100 dans le champ texte près de SQR1 et cliquer sur la flèche.
- Activer la boîte à cocher jaune A0 dans la partie droite de la fenêtre.
- Ajuster l'échelle horizontale à 10 milliseconde par division.
- Cliquez sur A0 et FT

2.24.3 Observation

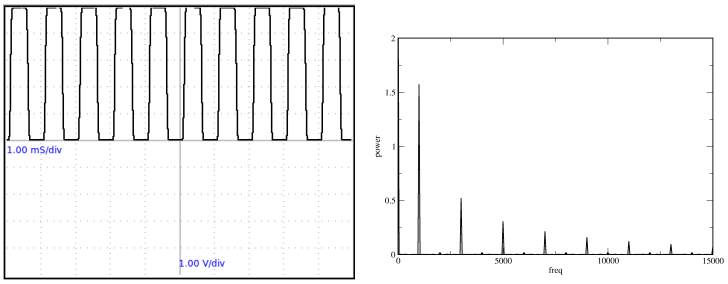
- Une nouvelle fenêtre s'ouvre et montre une trace comme dans la figure.

2.24.4 Discussion

Les séries de Fourier décomposent n'importe quel signal périodique en la somme d'un ensemble de simple fonctions oscillantes, à savoir des sinus et des cosinus. Un signal carré peut être représenté comme $f(\theta) = sin(\theta) + \frac{sin(3\theta)}{3} + \frac{sin(5\theta)}{5} + \cdots$.

[14] http://fr.wikipedia.org/wiki/Transformée_de_Fourier..

Figure 2.33: Signal carré et sa transformée de Fourier



Dans la transformée de Fourier d'un signal carré de fréquence f, il y aura une composante $3f$ (avec comme amplitude le tiers de celle de f), une composante $5f$ (amplitude un cinquième) etc. comme montré dans la figure 2.33.

Chapter 3

Électricité et magnétisme

On montre l'induction électromagnétique à l'aide d'un aimant mobile et d'un bobinage alimenté en tension alternative. La fabrication d'une transformateur est montrée à l'aide de deux bobines. Un générateur de courant alternatif simple, capable de produire des signaux avec plusieurs phases, et réalisé à l'aide d'un aimant tournant.

3.1 Induction électromagnétique

3.1.1 Objectif

Examiner la tension induite aux bornes d'un bobinage par un champ magnétique variable.

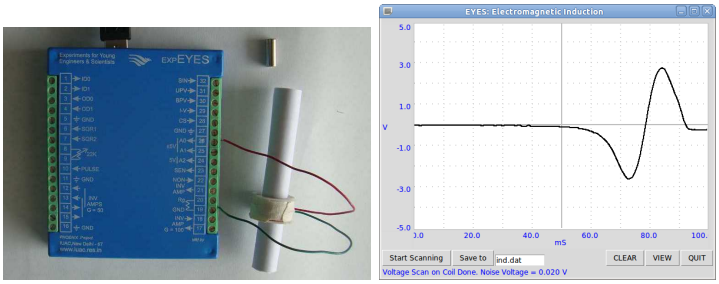
3.1.2 Matériel

- Petits aimants cylindriques.
- Bobinage 3000 tours et un tube en papier pour guider l'aimant.

3.1.3 Procédure

- Connecter le bobinage entre A0 et la masse [Ground].
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et ouvrir **`EM-Induction`**
- Cliquer sur Start Scanning. Une trace horizontale devrait apparaître
- Faire tomber l'aimant à travers la bobine jusqu'à ce qu'une trace soit capturée.
- Répéter le processus en changeant des paramètres tels que la force de l'aimant, la vitesse de chute, etc.

Figure 3.1: Tension induite dans un bobinage par un aimant en mouvement.



3.1.4 Observation

Le résultat est montré à la figure 3.1. L'amplitude augmente avec la vitesse de l'aimant. À partir du graphique, on peut déterminer le temps que prend l'aimant pour traverser la bobine.

3.1.5 Discussion

Le deuxième pic est plus grand que le premier. Pourquoi ? À quelle place sera l'aimant au moment où la tension induite passe par zéro ?

Laisser tomber l'aimant depuis des hauteurs variables et faire un graphique de l'amplitude de la tension induite en fonction de la racine carrée de la hauteur.

3.2 Un générateur de courant alternatif simple

3.2.1 Objectif

Mesurer la fréquence et l'amplitude de la tension induite aux bornes d'un solénoïde par un aimant tournant. Comprendre un peu du fonctionnement des générateurs de courant alternatif en examinant le résultat et les difficultés du montage.

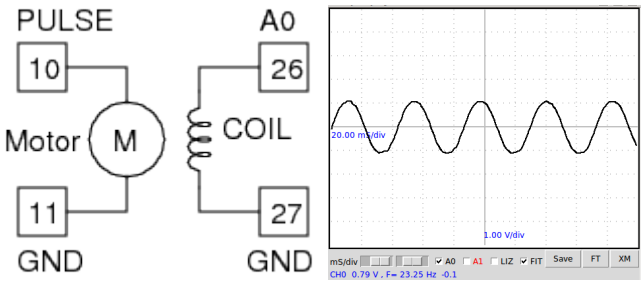
3.2.2 Matériel

- Un aimant, Diamètre = 10 mm, Longueur = 10 mm
- Un moteur à courant continu
- Bobine 300 tours

3.2.3 Procédure

- Connecter le moteur à courant continu à PULSE (borne 10), fixer l'aimant horizontalement.

Figure 3.2: Tension en sortie du générateur de courant alternatif avec différentes vitesses de rotation de l'aimant



- Connecter la bobine entre A0 et la masse [Ground].
- Tenir la bobine perpendiculairement à l'axe de rotation du moteur, près de l'aimant. Attention de ne pas le toucher.
- Régler PULSE à 10 (% de rapport cyclique)
- Mesurer la fréquence et l'amplitude en activant FIT.
- Recommencer en changeant PULSE à 20 , 30 et 40 (mais PAS au-delà !)

3.2.4 Observation

La tension est montrée à la figure 3.2. La vitesse du moteur est à peu près proportionnelle au rapport cyclique (depuis 20% jusqu'à 40%).

3.2.5 Discussion

Connecter une autre bobine à A1 et l'approcher aussi de l'aimant pour voir deux signaux alternatifs avec des phases différentes. On peut changer les phases relatives an modifiant la position angulaire des bobines.

Approcher une autre bobine court-circuitée près de l'aimant pour observer les changements de fréquence. La bobine court-circuitée soustrait de l'énergie au générateur et la vitesse est réduite.

Le champ magnétique dans ce générateur est très faible. La résistance de la bobine est très élevée et si on essayait d'en tirer du courant, la plus grande partie de la tension serait perdue dans la bobine elle-même. C'est plus sûr d'alimenter le moteur à partir d'une alimentation séparée (de moins de 3 volt). La sortie PULSE n'est pas bien adaptée à ce travail, car on crée pratiquement un court-circuit d'une borne de sortie du micro-contrôleur.

3.3 Induction mutuelle, transformateur

3.3.1 Objectif

Démontrer l'inductance mutuelle entre deux bobines, réalisation d'un transformateur.

3.3.2 Matériel

- Deux bobines, chacune de 3000 tours.

3.3.3 Procédure

Figure 3.3: Induction mutuelle entre deux bobines. (a) Le montage. (b) Avec un noyau en ferrite

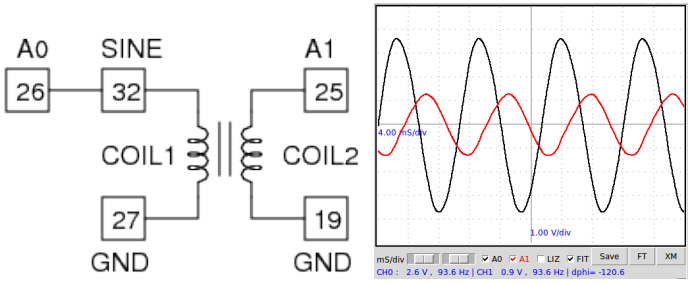
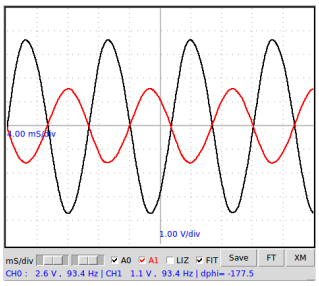


Figure 3.4: Induction mutuelle entre deux bobines, avec deux noyaux en forme de E.



- Connecter la première bobine entre SINE et la masse [Ground].
- Un fil électrique entre SINE et A0, pour observer le signal d'entrée.
- Connecter la deuxième bobine entre A1 et la masse [Ground].

- Aligner les bobines et insérer le noyau de ferrite à travers.
- Activer A1 et FIT

3.3.4 Observation

Le signal appliqué et le signal induit sont montrés dans la figure 3.3. Un champ magnétique variable est la cause de la tension induite. Dans les deux expériences précédentes, le champ magnétique variable était créé par le mouvement d'aimants permanents. Dans le cas présent le champ magnétique variable est créé par un courant variable dans le temps.

3.3.5 Discussion

Le signal de sortie devrait être en phase avec le signal d'entrée selon la théorie[1]. Cependant, ça ne se produit pas tant que le couplage est insuffisant.

Avec plus de ferrite, le déphasage devient conforme à la théorie.

Essayer de faire cette expérience avec un signal carré de 100 Hz, 1000 Hz, etc. Connecter une résistance de 1 $k\Omega$ entre le secondaire et la masse pour éviter les battements.

3.4 Électro-aimant, solénoïde

3.4.1 Objectif

Montrer l'effet magnétique d'un courant, en utilisant un solénoïde et un aimant permanent.

3.4.2 Matériel

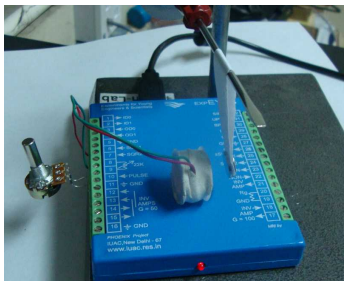
- Solénoïde (bobinage).
- Deux aimants de forme bouton.

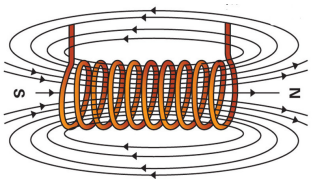
3.4.3 Procédure

- Connecter le solénoïde entre OD0 et la masse [Ground].
- Réaliser un pendule en utilisant une bandelette de papier et les aimants.
- Suspendre le pendule près du solénoïde comme montré à la figure 3.5
- Porter OD0 à l'état HAUT et observer la force.
- Retourner le sens du pendule
- Placer le pendule de l'autre côté du solénoïde.

[1] http://sound.westhost.com/xfmr.htm.

Figure 3.5: (a) Solénoïde parcouru par un courant repoussant un aimant permanent. (b) Champ magnétique d'un solénoïde parcouru par un courant.





3.4.4 Observation

Le solénoïde se comporte exactement comme un aimant droit. Suspendre le pendule à aimant près du bobinage et changer le sens du courant en échangeant les fils connectées à OD0 et à la masse.

3.4.5 Discussion

Le champ magnétique d'un solénoïde est montré à la figure 3.5. La direction du champ dépend de la direction du courant.

Trouver le sens d'enroulement du solénoïde d'après les observations précédentes.

3.5 Freinage par courants de Foucault

3.5.1 Objectif

Démontrer l'effet des courantes de Foucault en déplaçant un conducteur perpendiculairement à un champ magnétique.

3.5.2 Matériel

- Moteur à courant continu
- Disque d'aluminium annulaire
- Aimant $10\,mm \times 10\,mm$

3.5.3 Procédure

- Fixer le disque sur le moteur à l'aide d'une bande adhésive
- Connecter le moteur entre PULSE et la masse [Ground]
- Régler PULSE à 30* Approcher l'aimant près de la surface du disque.

3.5.4 Observation

La vitesse de rotation diminue quand l'aimant est approché de la surface du disque.

3.5.5 Discussion

Les courants de Foucault sont créés quand un conducteur subit des changements de champ magnétique. si soit le conducteur se déplace dans un champ magnétique immobile, soit le champ magnétique change autour d'un conducteur immobile, des courants de Foucault apparaissent dans le conducteur.

Chapter 4

Le son

On génère du son à l'aide de signaux électriques et la fréquence du son est medurée en le convertissant à nouveau en signal électrique. On explore la réflexion et l'interférence sonores. La vitesse du son est mesurée en observant le déphasage du son numérisé avec la distance.

4.1 Générer du son

4.1.1 Objectif

Trouver des réponses à quelques questions comme :

- Quelle est la description du son ?
- Quelles sont les caractéristiques des ondes sonores ?
- Comment créer et détecter un son ?

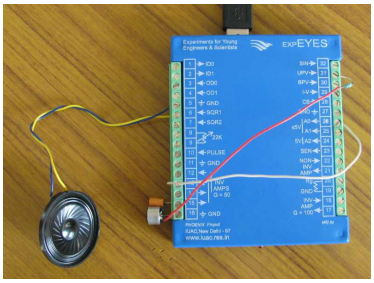
4.1.2 Matériel

- Haut-parleur de 150 Ω
- Disque piézo-électrique

4.1.3 Procédure

- Connecter le haut-parleur de 150 Ω entre SQR1 et GND
- Régler SQR1 à 1000 Hz.
- Écouter le son.
- Changer la fréquence pour noter la différence dans le son généré.
- Recommencer la même chose avec le disque piézo aussi.

Figure 4.1: Générer du son à partir de signaux électriques.



- Faire un clic droit sur le tableau de bord et ouvrir **`Musique`** dans le menu contextuel.

4.1.4 Observation

La hauteur du son produit dépend de la fréquence.

4.1.5 Discussion

Comment le haut-parleur produit-il du son ? Quand un courant alternatif est appliqué, le diaphragme du haut parleur oscille d'avant en arrière. Quand il va vers l'avant, il pousse l'air en face de lui et créer un région comprimée ou de haute pression. Ensuite il recule en créant une zone de basse pression juste derrière la zone de haute pression créée précédemment, et termine son premier cycle. Au déplacement suivant vers l'avant, une autre zone de haute pression est créée et se place derrière les zones de basse et de haute pression créées lors du cycle précédent. Ce procédé se répète et les zones de pression alternativement haute et basse voyagent vers l'avant. Ceci est le son.

Quand on génère des fréquences différentes on crée une mélodie. Cependant la richesse vient d'un juste dosage des harmoniques pour chaque fréquence, c'est quelque chose qu'on ne peut pas contrôler à l'aide de notre montage.

4.2 La fréquence du son

4.2.1 Objectif

Mesurer la fréquence du son en le convertissant en signal électrique.

4.2.2 Matériel

- Montage à microphone
- Haut-parleur de 150 Ω

- Disque piézo

4.2.3 Procédure

Figure 4.2: Numériser le son. (a) branchements (b) son à 3012 Hz

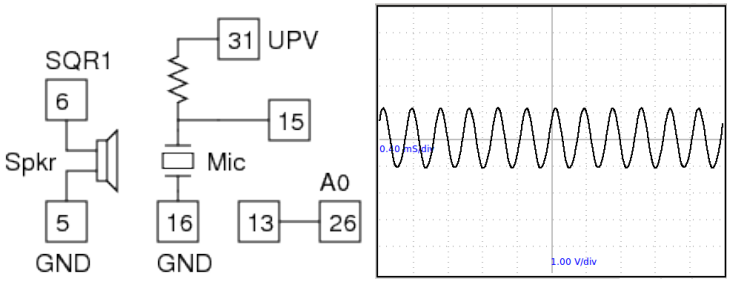
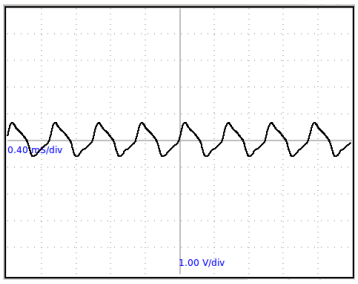


Figure 4.3: son à 2000 Hz



- Connecter le microphone entre les bornes 15 et 16, et la résistance de polarisation en UPV
- Connecter la sortie de l'amplificateur (borne 13) à A0.
- Régler UPV à 5 V.
- Connecter le haut-parleur de 150 Ω entre SQR1 et la masse [Ground].
- Régler SQR1 à 3000 Hz et placer le haut-parleur face au microphone.
- Observer le signal et ajuster la base de temps.
- Activer FIT pour mesurer la fréquence

4.2.4 Observation

fréq. de consigne	fréq. mesurée
3012,0	3011,94
2000	2000,46

En modélisant les données numérisées, on peut récupérer l'information de fréquence. Cependant, le signal paraît plus propre aux environs de 3000 Hz.

La sortie à 2000 Hz contient une composante à 6000 Hz. On peut voir la différence en comparant les spectres de fréquence de chaque enregistrement, cliquer sur FT pour cela.

4.2.5 Discussion

Les ondes sonores créent des variations de pression dans les milieux qu'elles traversent. Le microphone génère une tension qui est proportionnelle à la pression. Comme ce signal est très faible, on l'amplifie 50 fois avant de le numériser. Les variations de tension son en rapport avec les variations de pression. On peut considérer le microphone comme un capteur de pression, mais qui fonctionne uniquement pour les pressions variant avec le temps.

Quand on recommence l'expérience on peut obtenir des résultats étranges à première vue. Une alimentation à la fréquence de 100 Hz vous donnera une fréquence proche de 3900 Hz, mais avec une amplitude faible. La résonance intervient là aussi.

4.3 La vitesse du son

4.3.1 Objectif

Calculer la vitesse du son en mesurant la variation de la pression dans l'air en fonction de la distance.

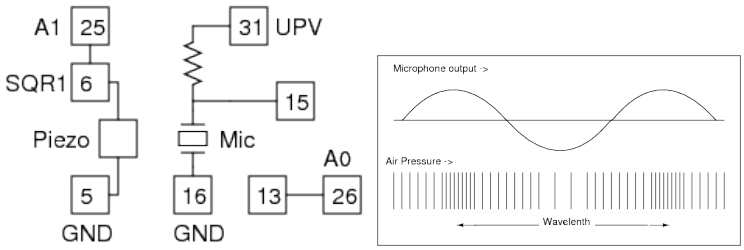
4.3.2 Matériel

- Disque piézo
- Montage à microphone

4.3.3 Procédure

- Connecter le disque piézo entre SQR1 et la masse [Ground].
- Connecter le montage à microphone et régler UPV à 5 V.
- Connecter la sortie de l'amplificateur à A0 et SQR1 à A1
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et démarrer `Vitesse du son` depuis le menu contextuel

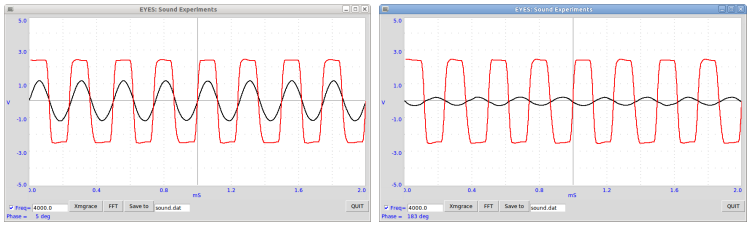
Figure 4.4: (a) Montage expérimental (b) Schéma de la propagation d'ondes sonores, et de la variation du signal du microphone avec la pression.



- Placer le disque piézo sur le côté, posé sur une pièce de tissu doux, en face du microphone.
- Ajuster la distance pour avoir des signaux en phase.
- Déplacer le microphone pour mettre les signaux en opposition de phase, sans bouger le tissu.
- Mesurer la distance depuis le bord du tissu jusqu'à la position courante.

4.3.4 Observation

Figure 4.5: Amplitude du son capté à deux positions séparées d'une demi-longueur d'onde.



L'amplitude du son capté en deux points est montrée dans la figure 4.5. Le signal carré est la tension qui commande la disque piézo. Pour changer la phase de l'onde sinusoïdale issue du microphone, de 180° (demi-longueur d'onde) le microphone est déplacé de 4,3 cm. La vitesse du son est donnée par $v = f\lambda = 4000 \times 2 \times 0.043 = 344\,m \cdot s^{-1}$.

4.3.5 Discussion

Le son voyage comme une série de zones en surpression et en dépression. La partie basse de la figure 4.4 montre les régions de haute et basse pression le long

de la direction de déplacement de l'onde sonore. La pression en fonction du temps en un point fixe de ce chemin est donnée par le signal issu du microphone, comme montré dans la partie haute de la figure 4.4.

On peut représenter la variation de la pression en tout point par rapport à sa variation au point de départ. La phase relative des deux signaux change quand on bouge le microphone. Un déplacement d'une longueur d'onde changera la phase de 360°. On a fait un déplacement d'une demi-longueur d'onde pour avoir une différence de phase de 180°. La vitesse du son peut être calculée en multipliant la fréquence par la longueur d'onde mesurée.

Pourquoi utiliser un tissu doux replié ? Pourquoi ne pas utiliser une surface dure ?

4.4 La réflexion du son

4.4.1 Objectif

Étudier la nature de la réflexion du son par une surface dure

4.4.2 Matériel

- Microphone à condensateur
- Disque piézo-électrique, alimenté par SQR1
- Un carré dur de $10\,cm \times 10\,cm$, en plastique ou en carton

4.4.3 Procédure

- Connecter le microphone comme expliqué à la section 4.2
- Connecter le disque piézo entre SQE1 et la masse [Ground].
- Fixer le microphone et le disque piézo face à la même direction.
- Observer l'amplitude en A0.
- Placer le carré dur en face et refaire la capture.

4.4.4 Observation

Le son est reflété par une surface dure.

4.4.5 Discussion

Changer l'orientation du réflecteur et observer les modifications. Comment cela peut-il être comparé avec la réflexion de la lumière par un miroir (ou plutôt sur une feuille de papier blanc) ?

Essayer la réflexion sur une surface molle comme du tissu ou une éponge

L'effet de la réflection est ce qui nous a obligé à utiliser une surface en tissu dans l'expérience précédente. Essayer de placer une surface dure parallèle à la direction du son pour voir l'effet sur la différence de phase. Le son qui voyage directement interfère avec la part qui est reflétée sur la surface dure, ce qui modifie la phase au niveau du microphone.

4.5 Les interférences sonores

4.5.1 Objectif

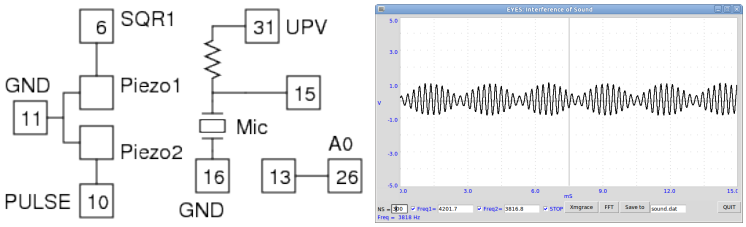
Étudier les interférences sonores de sons issus de deux sources individuelles

4.5.2 Matériel

- Microphone à condensateur
- Deux disques piézo, alimentés par SQR1 et PULSE

4.5.3 Procédure

Figure 4.6: Battements créés à l'aide de deux fréquences voisines.



- Connecter le microphone comme expliqué à la section 4.2
- Connecter un disque piézo entre SQR1 et la masse [Ground] et l'autre entre PULSE et la masse [Ground].
- Faire un clic droit sur le tableau de contrôle et démarrer **`Interférences sonores`** depuis le menu contextuel
- Régler SQR1 à 4200 Hz et PULSE à 3800 Hz
- Ajuster les distances pour obtenir un motif de battements clair.
- Recommencer avec d'autres valeurs de fréquences.

4.5.4 Observation

Les fréquences individuelles sont $4201,7\ Hz$ et $3816,8\ Hz$, elles diffèrent de $384,9\ Hz$. D'après la figure 4.6 on peut voir qu'une enveloppe d'onde dure environ $2,65\ ms$, c'est à dire une fréquence proche de $380\ Hz$. La demi-longueur d'onde est la distance entre deux points de pression minimale.

4.5.5 Discussion

La puissance relative des composants fréquentiels individuels peut être mesurée en prenant une transformée de Fourier du signal de sortie.

4.6 Analyser de la musique

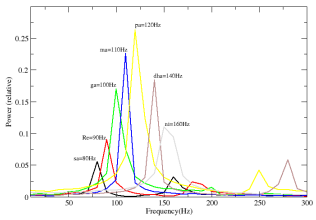
Contribution de jithinbp at gmail.com

4.6.1 Matériel

- Une guitare avec quelqu'un qui sait s'en servir
- Montage à microphone

4.6.2 Procédure

Figure 4.7: Analyse de Fourier de notes de musique.



- Connecter le microphone entre les bornes 15 et 16
- Relier le fil de polarisation à UPV et le régler à $5\ V$
- Jouer différentes notes et cliquer sur FT pour faire la transformée de Fourier

4.6.3 Observation

Les résultats sont montrés dans la figure 4.7. La corde de base Mi est utilisée. Les relations entre les notes sont données par

Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

4.7 Vitesse du son, avec des ultra-sons

4.7.1 Objectif

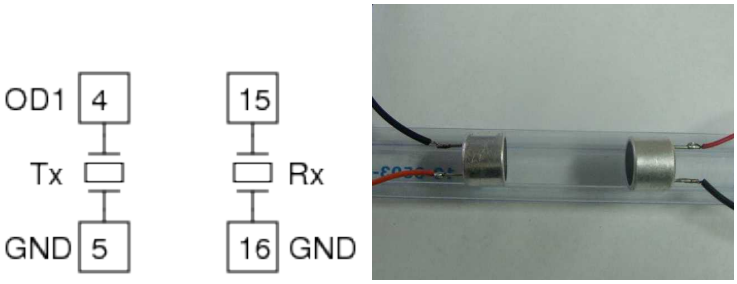
Mesurer la vitesse du son d'après le temps de vol de salves d'ultrasons.

4.7.2 Matériel

- Émetteur et récepteur piézo de fréquences 40 kHz

4.7.3 Procédure

Figure 4.8: (a) Connexions, (b) Montage expérimental



- Connecter l'émetteur piézo entre OD1 et la masse [Ground]
- Connecter le récepteur entre la borne 15 et la masse [Ground].
- Faire un clic droit et ouvrir **`TDV piézo 40 kHz`**
- Placer l'émetteur et le récepteur en face l'un de l'autre à 5 cm
- Mesurer le temps de vol
- Recommencer aussi à 6 et 7 cm
- Calculer la vitesse du son à partir des différences de distance et de temps

4.7.4 Observation

Distance (cm)	**Temps** (μs)
4	223
5	253
6	282

4.7.5 Discussion

Dans cette expérience, on utilise une paire de cristaux piézo-électriques 40 kHz pour étudier la propagation du son dans l'air. On applique une impulsion de 5 V, large de 13 μs, à l'émetteur piézo afin qu'il entre en vibration mécanique et génère une salve sonore à 40 kHz. Le récepteur piézo placé à distance convertit ces ondes sonores à nouveau en signal électrique. Ce signal est amplifié et l'intervalle de temps entre l'impulsion et l'arrivée des ondes au récepteur est mesuré.

Afin d'éliminer les erreurs systématiques comme le temps de réponse du l'émetteur, les délais d'amplification, etc., on met en relation les différences de temps de vol avec les changements de distance.

$0,02/(0,000282 - 0,000223) = 338\, m \cdot s^{-1}$.

4.8 Oscillations forcées d'un cristal piézo-électrique

4.8.1 Objectif

Étudier la comportement d'un disque piézo-électrique à plusieurs fréquences d'excitation. Il s'agit juste d'une exploration.

4.8.2 Matériel

- Disque piézo
- Montage à microphone

4.8.3 Procédure

- Connecter le piézo entre SQR1 et la masse [Ground]
- Connecter le microphone entre les bornes 15, 16 et 31
- Faire un clic droit et ouvrir `Interférences sonores`
- Placer l'émetteur et le récepteur face à face
- Régler NS (nombre d'échantillons) à 800
- Cliquer SQR1, le régler à 200

- Cliquer LANCER
- Ajuster la distance et cliquer sur FFT
- Changer SQR1 à 500, désactiver et activer LANCER

4.8.4 Observation

La fréquence de résonance di cristal pizo est proche de 3600 Hz, où il donne son amplitude maximale comme montré à la figure 4.9(a). Quand la fréquence d'excitation est 100 Hz, le piézo reçoit une impulsion toutes les 5 ms, comme montré à la figure 4.9(b), c'est à dire aux fronts montants et descendants du signal carré excitateur.

Figure 4.9: Sortie sonore du piézo (a) fréquence d'excitation de 3625 Hz (b) fréquence d'excitation de 100 Hz

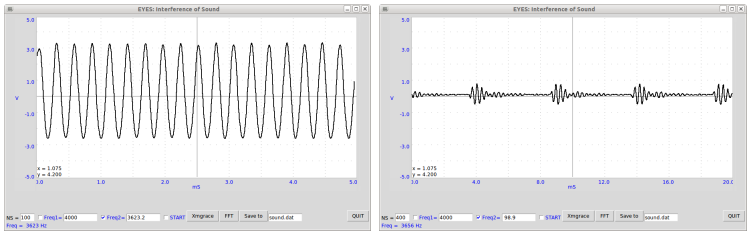
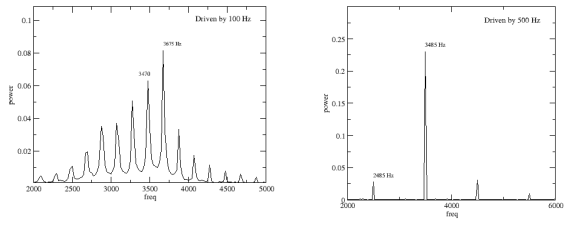


Figure 4.10: Spectre de puissance de Fourier du son du disque piézo. (a) Excité à 100 Hz (b) Excité à 500 Hz.



Chapter 5

Électronique

Les éléments non-linéaires comme les diodes et les transistors sont étudiés en traçant leurs courbes caractéristiques et en réalisant des circuits simples pour montrer leur fonctionnement. Le photo-transistor est utilisé pour les mesures de transparence, la transmission de signal optique et pour chronométrer des mouvements mécaniques. On explore la modulation d'amplitude et de fréquence.

5.1 Redresseur demi-onde, jonction PN

5.1.1 Objectif

Apprendre le fonctionnement d'une jonction PN de diode. Créer un courant continu à partit d'un courant alternatif sinusoïdal. Filtrage pour réduire la composante alternative.

5.1.2 Matériel

- Une diode 1N4148, une résistance de 1 $k\Omega$
- Des condensateurs de 1 μF et 100 μF.

5.1.3 Procédure

- Connecter SINE à A0
- Connecter la diode entre A0 et A1
- Connecter la résistance entre A1 et la masse [Ground]
- Visualiser les signaux de A0 et A1
- Ajouter le condensateur entre A1 et la masse [Ground]

Figure 5.1: Une diode utilisée comme redresseur demi-onde.

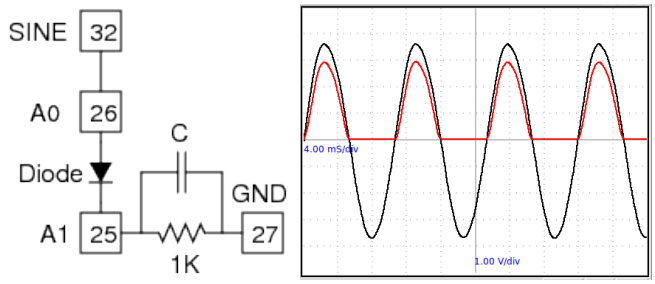
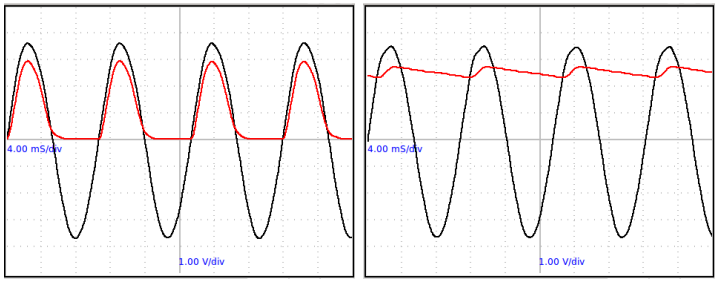


Figure 5.2: Redresseur avec filtrage. (a) 1 μF (b) 100 μF.



5.1.4 Observation

L'alternance négative est retirée par la diode comme montré dans la figure 5.1. Notez aussi que la tension de l'alternance positive est réduite d'environ $0,7\ V$, la tension de seuil d'une diode au silicium. Une résistance de charge est nécessaire au bon fonctionnement du montage, on pourrait choisir plus que 1 $k\Omega$ mais il ne faut pas utiliser des valeurs trop faibles comme notre source de courant alternatif ne peut donner qu'un courant de 5 mA.

L'effet du condensateur est montré dans la figure 5.2. On peut voir que le condensateur se charge et que pendant l'alternance manquante il maintient la tension. La composante alternative restante est appelée « ondulation résiduelle » [ripple] dans le courant continu.

5.1.5 Discussion

Peut-on utiliser une très grande capacité pour réduire l'ondulation résiduelle ?

Pendant quelle partie du cycle le courant passe-t-il à travers la diode ?

Qu'est-ce qui décide de la hauteur du pic ?

N'imaginez pas qu'on puisse réduire l'ondulation résiduelle en augmentant la capacité. Pendant la partie montante de l'alternance positive, la réactance

capacitive décide du courant dans la diode, mais en pratique dans les circuits il ne faut pas dépasser les limitations de la diode.

En pratique on utilise des redresseurs double alternance ou des redresseurs en pont.

5.2 Signaux sinusoïdaux en opposition de phase (déphasés de 180°)

5.2.1 Objectif

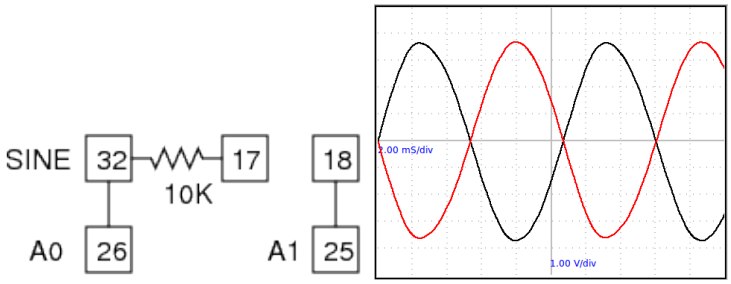
Montrer le fonctionnement d'un redresseur double alternance à l'aide de deux diodes, qui utilisent deux signaux alternatifs déphasés de 180°. On le réalise en inversant la sortie de SINE à l'aide d'un amplificateur inverseur. Le gain est rendu quasi-unitaire en mettant une résistance de $10k\,\Omega$ en série avec son entrée.

5.2.2 Matériel

- Une résistance de $10\,k\Omega$

5.2.3 Procédure

Figure 5.3: Un amplificateur inverseur pour faire un signal sinusoïdal déphasé de 180°.



- Réaliser les connexions comme dans la figure
- Visualiser les signaux sur A0 et A1

5.2.4 Observation

Le résultat est montré dans la figure 5.3.

5.2.5 Discussion

Les amplitudes ne sont pas exactement égales. Le gain est donné par $G = \frac{10000}{10000+100}$.

5.3 Les diodes, redresseur double alternance

5.3.1 Objectif

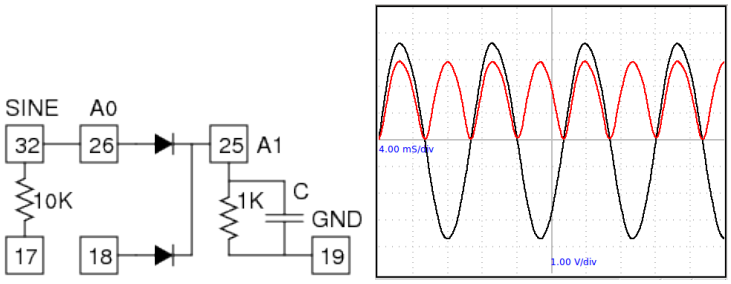
Réaliser un redresseur double alternance à partir de deux signaux de phases décalées de 180° l'une par rapport à l'autre.

5.3.2 Matériel

- Deux diodes 1N4148
- Résistances de 1 $k\Omega$ et 10 $k\Omega$
- Condensateurs de 1 μF et 100 μF.

5.3.3 Procédure

Figure 5.4: Redressement double alternance réalisé à l'aide de deux diodes.



- Connecter SINE à A0
- Connecter SINE à la borne 17 à travers une résistance de 10 $k\Omega$.
- Connecter une diode de A0 à A1
- Connecter une autre diode de la borne 18 à A1
- Connecter une résistance entre A1 et la masse [Ground]
- Visualiser les signaux de A0 et A1
- Ajouter un condensateur entre A1 et la masse [Ground]

5.3.4 Observation

Le résultat est montré dans la figure 5.4. On laisse comme exercice pour l'utilisateur l'ajout de condensateurs pour réduire l'oscillation résiduelle.

5.3.5 Discussion

Pourquoi le redresseur double alternance est-il supérieur au redresseur simple alternance ?

5.4 Caractéristique courant-tension (I-V) d'une diode

5.4.1 Objectif

Tracer la caractéristique courant-tension (I-V) d'une diode. Examiner l'équation d'une diode.

5.4.2 Théorie

La caractéristique courant-tension (I-V) d'une jonction PN idéale est donnée par l'équation :

$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$

- I_0 est le courant de saturation inverse
- q est la charge de l'électron
- k est la constante de Boltzman
- T est la température absolue

Pour les diodes ordinaires (non-idéales), la formule utilisée est :

$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{nkT}} - 1 \right)$

où l'exposant n vaut 1 pour une diode idéale. Pour des diodes réelles il varie entre 1 et 2.

5.4.3 Matériel

- Une diode 1N4148 et une diode Zéner $3,3\ V$ (pour voir la courbe de polarisation inverse).

Figure 5.5: Caractéristiques courant-tension (I-V) pour une diode 1N4148

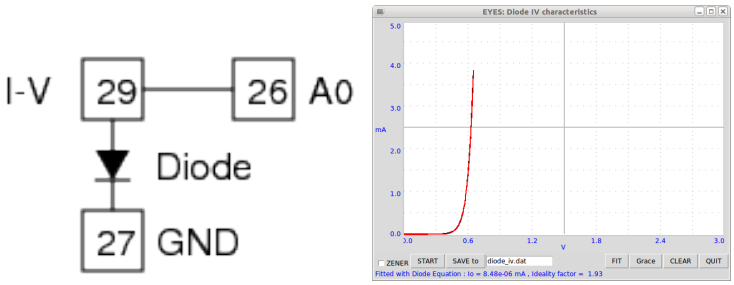
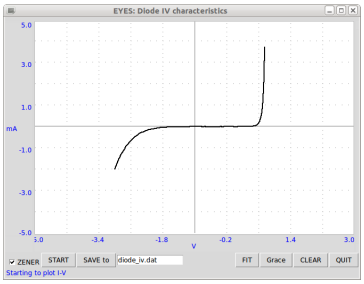


Figure 5.6: Caractéristiques courant-tension (I-V) pour une diode Zéner $3,3\ V$.



5.4.4 Procédure

- Connecter la diode 1N4148 entre I-V et la masse [Ground]. (côté N vers la masse)
- Connecter I-V à A0 par un fil électrique.
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et sélectionner **`Courbe I-U d'une diode`** dans le menu contextuel.
- Cliquer sur LANCER pour tracer la courbe caractéristique.
- Cliquer sur FIT pour calculer le facteur d'idéalité de la diode.
- Remplacer la diode 1N4148 par la diode Zéner.
- Activer la case à cocher **`ZENER`** et cliquer sur LANCER.

5.4.5 Observation

Les courbes obtenues sont montrées dans la figure 5.5. La valeur de n pour la diode 1N4148 est $1,93$ et pour la Zéner elle est $1,5$.

5.4.6 Discussion

Nous avons calculé la valeur de n en modélisant les données expérimentales par l'équation. Le facteur d'idéalité de la diode Zéner est calculé en ne prenant en compte que la partie des données en polarisation directe.

Recommencer l'expérience en chauffant la diode à différentes températures.

5.5 Diodes émettrices de lumière, DEL (LED)

5.5.1 Objectif

Tracer les courbes courant-tension (I-V) de DELs (LEDs) de différentes longueurs d'ondes. Trouver une relation avec la constante de Planck.

5.5.2 Théorie

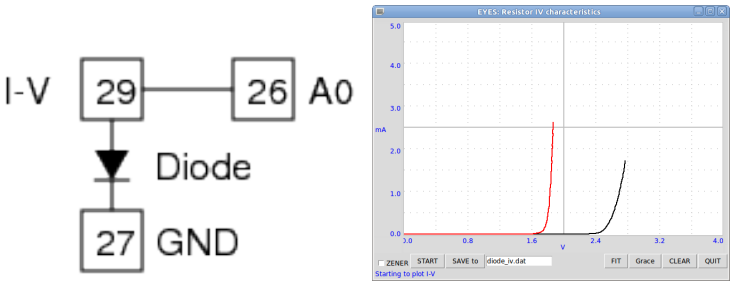
L'énergie d'un photon est donnée par $E = h\nu = hc/\lambda$. Cette énergie est égale à l'énergie d'une électron qui surmonte la barrière de potentiel à la jonction et est donnée par $E = eU_0$. Donc la constante de Planck vaut $h = eU_0\lambda/c$, où λ est la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL (LED), e la charge de l'électron et c est la vitesse de la lumière.

5.5.3 Matériel

- DELs rouge, verte, bleue et jaune. Chacune avec un enrobage transparent, c'est à dire non coloré.

5.5.4 Procédure

Figure 5.7: Caractéristiques courant-tension (I-V) de DELs bleue et verte



- Faire un clic droit dans le tableau de bord, ouvrir `Courbe I-U d'une DEL` depuis le menu contextuel.

- Connecter les diodes entre I-V et la masse [Ground], une par une, et tracer le graphique.

5.5.5 Observation

Les caractéristiques observées sont montrées dans la figure 5.7. La partie linéaire de la courbe est modélisée pour déterminer le point où elle rejoint l'axe-x, ce qui se produit à $1,788\ V$ pour le DEL rouge($\lambda = 660\,nm$) , ce qui donne :

$h = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \times 1{,}788 \times 660 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{8}} = 6,29 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$

5.5.6 Discussion

Note : il faut faire ça plus précisément. Comparer le quotient des tensions avec celui des longueurs d'ondes pour estimer la précision des mesures.

5.6 Caractéristique d'un transistor en émetteur commun

5.6.1 Objectif

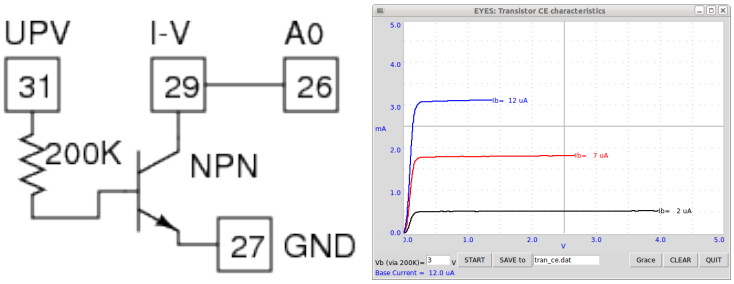
Tracer la courbe caractéristique en émetteur commun (CE) d'un transistor.

5.6.2 Matériel

- Un transistor 2N2222, une résistance de 200 $k\Omega$, des fils électriques.

5.6.3 Procédure

Figure 5.8: Caractéristiques du transistor en émetteur commun



- Souder deux petits fils électriques au collecteur.
- Souder la résistance à la base.

- Connecter la base à UPV (sortie 0 à 5 V)
- Collecteur à I-V, et à A0 pour le suivi de la tension.
- Émetteur à la masse [Ground].
- Faire un clic droit dans le tableau de bord et ouvrir **`Transistor en émetteur commun`** depuis le menu contextuel
- Entrer la tension de polarisation de la base puis cliquez sur LANCER. Recommencez pour plusieurs valeurs de Vb.

5.6.4 Observation

Les courbes caractéristiques pour différents courants de base sont montrées à la figure 5.8.

5.6.5 Discussion

On connecte le collecteur à I-V , qui est relié en interne à BPV. Le courant de base est fixé en réglant la tension à une extrémité de la résistance de 200 $k\Omega$, l'autre extrémité étant reliée à la base du transistor. La valeur du courant de base est calculable par :
$I_b = \frac{U_{polarisation} - 0.6}{200 \times 10^3} \times 10^6 \mu A$

5.7 Amplificateur à transistor (Émetteur commun)

5.7.1 Objectif

Démontrer le fonctionnement d'un amplificateur à transistor en configuration émetteur commun. Le point de fonctionnement est fixé en changeant la tension de polarisation, à l'aide de UPV. Un signal alternatif est généré à l'aide du haut-parleur utilisé comme microphone et ce signal d'entrée est amené à la base à travers un condensateur pour séparer la composante continue.

5.7.2 Matériel

- Support de transistor avec une résistance de 200 $k\Omega$ et un condensateur de $0,1$ μF à la base.
- Petit haut-parleur, à utiliser comme microphone
- Disque piézo, pour générer un son.

Figure 5.9: Amplificateur à transistor. Le montage, et point de fonctionnement avec une polarisation de 2 V

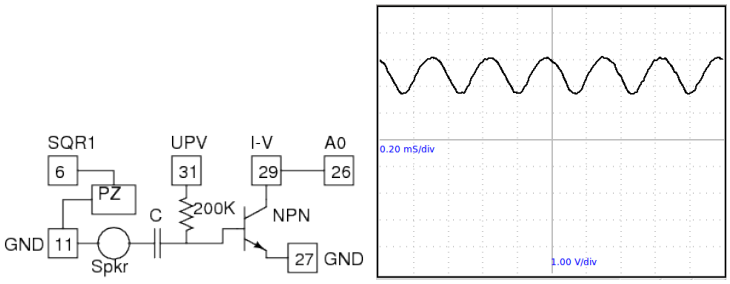
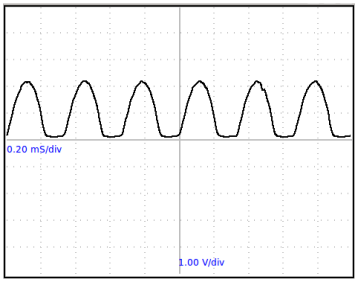


Figure 5.10: Même montage, point de fonctionnement avec une polarisation de 4 V



5.7.3 Procédure

- Connecter le collecteur du transistor à I-V et A0
- Connecter la base du transistor à UPV
- Connecter le disque Piézo à SQR1 et régler SQR1 à 3000 Hz
- Connecter le petit haut-parleur à la base à travers le condensateur de $0,1\ \mu F$, l'autre connexion à la masse [Ground].
- Régler la tension de polarisation en UPV. Essayer des valeurs entre 1 V et 5 V.

5.7.4 Observation

Les tensions de collecteur pour différents courants de base sont montrées aux figures 5.9 et 5.10.

5.7.5 Discussion

Souvenez-vous que le gain en tension n'est pas la même chose que le coefficient β du transistor, mais qu'il dépend de la résistance dans le circuit de collecteur. Dans notre montage le collecteur est connecté à 5 V à travers une résistance de 1 $k\Omega$.

Pourquoi a-t-on besoin d'entrer le signal à travers un condensateur ? Essayez de court-circuiter le condensateur avec un morceau de fil électrique, tout en observant la trace.

5.8 Photo-transistor

5.8.1 Objectif

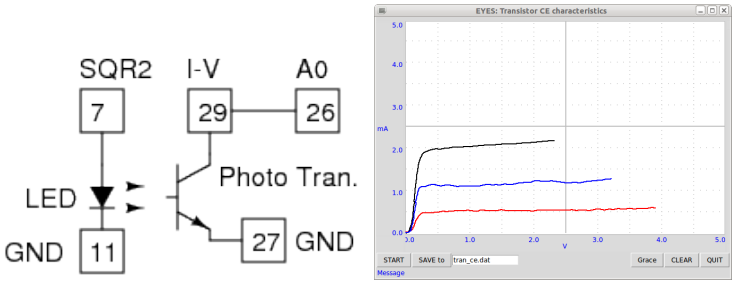
Comprendre le photo-transistor. Tracer la caractéristique en mode émetteur commun (CE).

5.8.2 Matériel

- Photo-transistor (sans le fil de base) et des fils électriques
- DEL blanche

5.8.3 Procédure

Figure 5.11: Caractéristique du photo-transistor en configuration émetteur commun.



- Connecter l'émetteur du transistor à la masse [Ground] et collecteur branché à I-V et A0.
- Connecter la DEL entre SQR2 et la masse [Ground].
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et ouvrir **`Photo-transistor en émetteur commun`** depuis le menu contextuel

- Placer une source de lumière à 5 cm du transistor
- Cliquer sur LANCER, pour tracer la caractéristique en mode émetteur commun
- Recommencer en changeant la distance entre la source de lumière et le transistor

5.8.4 Observation

Les courbes caractéristiques pour différentes intensités de lumière sont montrées sur la figure.

5.8.5 Discussion

Le courant de base est régi par l'intensité de la lumière.

5.9 Transmission de signal opto-électrique

5.9.1 Objectif

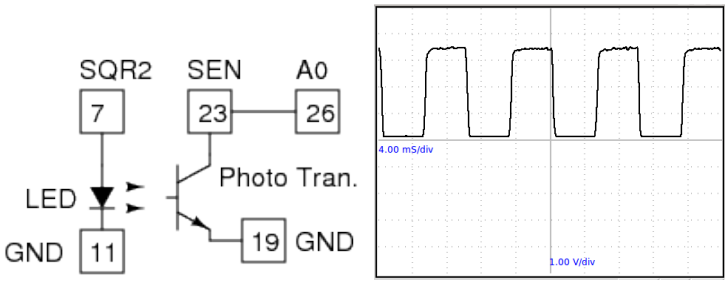
Montrer la transmission de signaux à travers un média optique. Des signaux électriques sont convertis en lumière puis convertis à nouveau en signaux électriques au niveau du récepteur.

5.9.2 Matériel

- DEL et photo-transistor

5.9.3 Procédure

Figure 5.12: Le signal au collecteur du photo-transistor



- Connecter la DEL entre SQR2 et la masse [Ground].

- Connecter la résistance de 22 $k\Omega$ de SQR2
- Connecter l'émetteur du photo-transistor à la masse [Ground] et collecteur à SEN (borne 23)
- Connecter SEN à A0
- Régler SQR2 à 500 Hz
- Placer la DEL en face du photo-transistor et ajuster le signal.
- Activer l'option FIT pour calculer la fréquence en modélisant les données.
- Faire une mesure de fréquence plus précise en cliquant sur Measure Freq
- Recommencer l'expérience en changeant la fréquence.
- Utiliser le câble en fibre optique pour guider la lumière de la DEL au transistor.

5.9.4 Observation

Le signal de sortie du photo-transistor pour un signal de la DEL à 500 Hz est montré à la figure 5.12. La fréquence calculée par modélisation de la courbe est très proche de 500 Hz. La mesure de fréquence réalisée en interne donne la valeur correcte.

5.9.5 Discussion

Le signal électrique est converti en lumière par la DEL. La lumière est transmise au photo-transistor et est convertie à nouveau en signal électrique. On peut voir que la forme du signal est légèrement arrondie, mais que l'information de fréquence est préservée. Ceci démontre l'avantage de la transmission numérique sur la transmission analogique.

5.10 Modulation d'amplitude et de fréquence

5.10.1 Objectif

Étudier la modulation d'un signal en amplitude et en fréquence. Analyser le signal modulé en amplitude mathématiquement pour voir les bandes latérales.

5.10.2 Matériel

Le boîtier analogique Phoenix : il a un générateur sinusoïdal (à 100 Hz environ) dont l'amplitude peut être contrôlée à l'aide d'une tension continue. Il a aussi un générateur sinusoïdal à 4 kHz disposant de contrôles d'amplitude et de fréquence. Nous utilisons la sortie UPV de expEYES pour contrôler l'amplitude

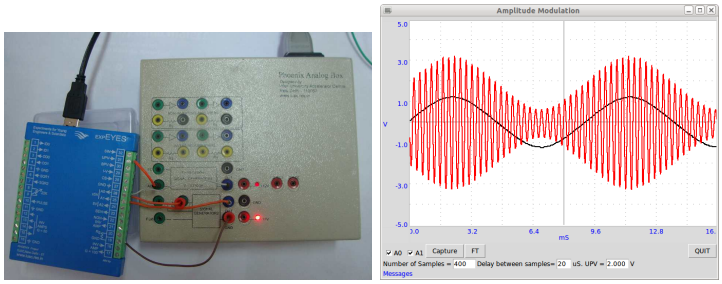
du générateur de 100 Hz. Sa sortie est suivie par A0 et aussi reliée à l'entrée d'amplitude de modulation du deuxième oscillateur. L'amplitude du deuxième oscillateur est reliée à A1.

On peut capturer ces signaux, séparément ou ensemble. Le nombre d'échantillons et l'intervalle entre les échantillons peuvent être spécifiés par l'utilisateur. La profondeur de modulation est régie par l'amplitude du signal de modulation.

Le boîtier analogique permet aussi de régler la fréquence du signal de modulation entre 100 et 300 Hz, mais on n'utilise pas cette fonction ici.

5.10.3 Procédure

Figure 5.13: Modulation d'amplitude.(a) Montage expérimental (b) Signal modulant présenté en même temps que la sortie modulée.

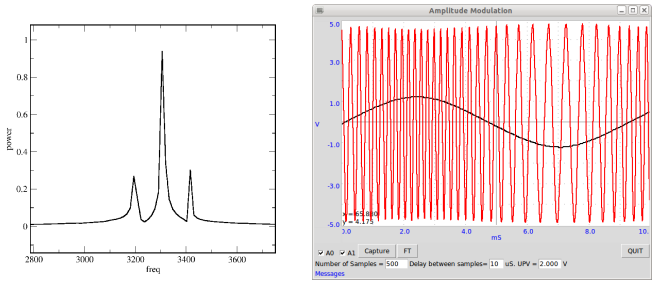


- Connecter les masses du boîtier analogique et d'expEYES
- Relier UPV relié à AC de l'oscillateur 100 Hz
- Relier la sortie 100 Hz à A0 et à l'entrée de modulation d'amplitude AM
- Relier la sortie modulée à A1
- Sélectionner A0 et A1
- Capturer 400 échantillons avec un intervalle de 20 ms.
- Sélectionner A1 seulement
- Capturer 1800 échantillons avec un intervalle de 40 μs
- Cliquer sur Power Spectrum pour faire une transformation de Fourier
- Pour faire une modulation de fréquence (FM), connecter la sortie 100 Hz à l'entrée FM de l'autre générateur.

5.10.4 Observation

Une porteuse avec une fréquence proche de 4 kHz est modulée par un signal sinusoïdal d'environ 100 Hz. Une petite portion du signal de sortie (400 points avec un intervalle de 20 ms) représentée en même temps que le signal modulant est montrée à la figure 5.13(b). Le spectre de puissance est calculé par transformation de Fourier. Pour obtenir de meilleurs résultats un échantillon plus long (1800 échantillons avec un intervalle de 40 μs) est étudié. La modulation de fréquence est faite aussi, juste en changeant la connexion du signal de AM vers l'entrée FM. La sortie FM est montrée à la figure 5.14.

Figure 5.14: (1) Spectre de puissance de la sortie AM. Générée avec 1800 mesures et un intervalle de temps de 40 μs entre elles. (2) La sortie FM.



5.10.5 Discussion

Les deux bandes latérales sont clairement obtenues de part et d'autre du pic de la porteuse, séparées par la fréquence de modulation.

La sortie AM ressemble aux battements sonores que nous avons obtenus à la section 4.5, mais si on prend le spectre de battements, il donne deux pics correspondant aux fréquences individuelles. Quelles sont leurs différences malgré les apparences semblables ?

Chapter 6

Mécanique, optique et thermophysique

On étudie un phénomène de résonance à l'aide d'un pendule excité. La valeur de l'accélération due à la gravité est mesurée à l'aide d'une méthode par temps de vol et aussi à l'aide d'un pendule.

6.1 Résonance d'un pendule entretenu

6.1.1 Objectif

Étudier la résonance d'un pendule entretenu

6.1.2 Matériel

- Un solénoïde et un pendule réalisé à l'aide d'aimants en boutons, identique à celui de la section 3.4
- Un potentiomètre de 22 $k\Omega$

6.1.3 Procédure

- Connecter le solénoïde entre SQR2 et la masse [Ground].
- Connecter la résistance variable de 22 $k\Omega$ en tant que résistance variable pour SQR2.
- Suspendre le pendule près du solénoïde solénoïde comme montré à la figure 3.5
- Régler SQR2 à 10 Hz, et ajuster la résistance pour réduire la fréquence jusqu'à ce que l'amplitude du pendule augmente.

6.1.4 Observation

Quand SQR2 arrive à la fréquence de résonance du pendule, l'amplitude augmente à cause du phénomène de résonance. Un pendule long de $5,2\ cm$ (du centre de l'aimant à l'axe de l'oscillation) a résonné à environ $2,3\ Hz$, en concordance presque parfaite avec sa fréquence naturelle calculée.

6.1.5 Discussion

La fréquence de résonance du pendule peut être calculée en l'assimilant à un pendule simple et à l'aide de la formule : $f = \frac{1}{T}$, où $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ et où ℓ est la distance du centre de l'aimant au point de suspension et g est l'accélération due à la gravité.

Recommencer l'expérience en changeant la longueur du pendule. SQR2 ne peux pas aller en deçà de $0,7\ Hz$

6.2 Valeur de 'g', pendule pesant

6.2.1 Objectif

Mesurer la période des oscillations d'un pendule pesant en utilisant une barrière photo-électrique et calculer l'accélération due à la gravité.

6.2.2 Théorie

La période des oscillations d'un pendule pesant fait d'une barre de section constante suspendu à une extrémité est donné par :

$T = 2\pi\sqrt{\frac{2\ell}{3g}}$

6.2.3 Matériel

- Barrière photo-électrique réalisée avec une DEL et un photo-transistor
- Pendule pesant

6.2.4 Procédure

- Connecter la DEL entre SQR2 et la masse [Ground]
- Connecter le collecteur du photo-transistor à SEN et l'émetteur à la masse [Ground]
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et démarrer **`Pendule pesant`** depuis le menu contextuel
- Mesurer et entrer la longueur du pendule

Figure 6.1: Mesure de la période d'un pendule pesant à l'aide du barrière photo-électrique, pour calculer la valeur de 'g'.

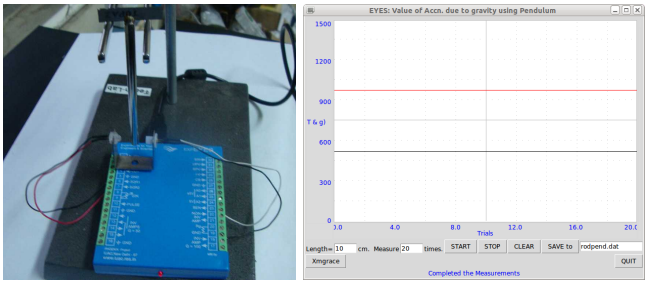
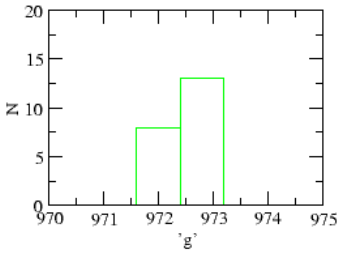


Figure 6.2: Calculs la valeur de 'g', dispersion des résultats.



- Mettre le pendule à osciller et cliquer sur LANCER
- On peut faire un histogramme à l'aide de XmGrace.

6.2.5 Observation

La période (en milliseconde pour s'ajuster à l'intervalle vertical avec des valeurs de 'g') et la valeur calculée de 'g' sont représentées sur la courbe, comme montré à la figure 6.1. On voit aussi un histogramme des 20 dernières mesures à la figure 6.2.

6.2.6 Discussion

La valeur calculée de 'g' est proche de $9,725\ m \cdot s^{-2}$ ($9,8$ avec une erreur systématique d'environ $0,1$). L'erreur aléatoire est de moins de 0,1%. La raison de l'erreur systématique peut être due aux raisons suivantes : la longueur est mesurée du bord du couteau jusqu'en bas, et utilisée dans la formule. Mais il y a une petite masse au-dessus du bord du couteau qui n'est pas incluse dans le calcul ; une autre raison est que le pendule n'est pas exactement vertical dans la position de repos.

6.3 Oscillations d'un pendule

6.3.1 Objectif

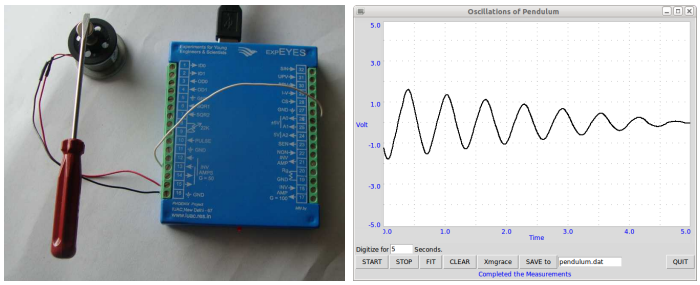
Étudier la nature des oscillations d'un pendule. Un encodeur angulaire est nécessaire pour mesure le déplacement angulaire en fonction du temps. Nous allons essayer de mesurer la vitesse angulaire en fonction du temps, puisque ça peut se faire à l'aide d'un moteur à courant continu bon marché.

6.3.2 Matériel

- Un petit moteur à courant continu avec un pendule fixé à son axe.

6.3.3 Procédure

Figure 6.3: Nature des oscillations d'un pendule



- Attacher un pendule rigide quelconque à l'axe su moteur.
- Connecter les fils électriques du moteur entre la borne 17 et la masse [Ground]
- Connecter la borne 18 à A0
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et démarrer **`Signal du pendule`** depuis le menu contextuel
- Faire osciller la pendule et cliquez sur LANCER pour numériser

6.3.4 Observation

Le signal observé est montré dans la figure. La modélisation des données avec l'équation $A = A_0 sin\,(\omega t + \theta) * \exp(-dt) + C$, à l'aide de XmGrace, a donné une fréquence angulaire de 10 Hz.

6.3.5 Discussion

Le pendule devrait être fait avec une masselotte lourde et une tige légère la reliant à l'axe du moteur. J'étais pressé de terminer ce texte et j'ai juste utilisé un tournevis et un aimant pour l'attacher à l'axe du moteur. Le moteur à courant continu se comporte comme un générateur dans ce cas.

6.4 Valeur de 'g' par temps de vol

6.4.1 Objectif

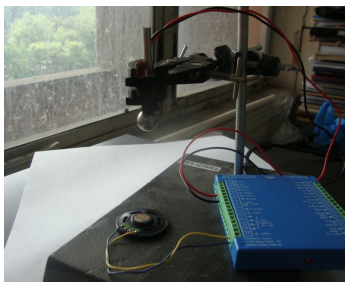
Mesurer le temps de vol d'un objet tombant sous gravité d'une hauteur connue et calculer la valeur de l'accélération due à la gravité.

6.4.2 Matériel

- Électro-aimant (bobine de 1000 tours avec un noyau de fer)
- Haut-parleur 150 Ω

6.4.3 Procédure

Figure 6.4: Gravité par mesure de temps de vol. La bille de fer est tenue par l'électro-aimant.



- Fixer l'électro-aimant sur un support
- Le connecter à OD0 et à la masse [Ground]
- Connecter le haut-parleur entre les bornes 15 et 16
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et démarrer **`Gravity TOF`**
- Cliquer sur Attach the Ball
- Entrer la hauteur du bas de la bille jusqu'au sol
- Cliquer sur Measure TOF

6.4.4 Observation

Hauteur (m)	**Durée** t	$g = \frac{2h}{t^2}\ (m \cdot s^{-2})$
0,35	0,269	9,674
0,25	0,228	9,61.8

6.4.5 Discussion

Les valeurs calculées sont moins que la valeur réelle. Pourquoi ?

Nous mesurons la durée entre la transition $5\ V \rightarrow 0\ V$ à OD0 et l'apparition de quelques millivolts à la sortie du haut-parleur. L'effet magnétique ne disparaît pas instantanément et les délais du circuit doivent aussi être pris en compte.

Si on applique une correction de 2 ms à la première lecture, le résultat est $0,70/0,267^2 = 9,819$. Cela montre la précision nécessaire requise pour les mesures de temps de vol.

6.5 Mesure de température, PT100

6.5.1 Objectif

Enregistrer la température d'un liquide à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine

6.5.2 Théorie

La résistance d'un élément PT100 est reliée à la température par l'équation :

$R_T = R_0 \left[1 + AT + BT^2\right]$

où $A = 3,9083 \cdot 10^{-3}$ et $B = -5,775 \cdot 10^{-7}$.

6.5.3 Matériel

- Un capteur PT100
- Une résistance de 330 Ω

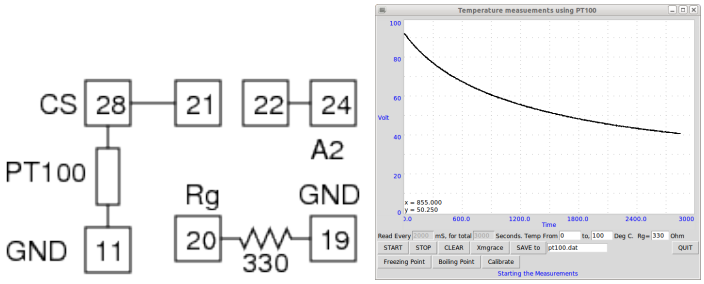
6.5.4 Procédure

- Connecter le capteur PT100 entre CS et la masse [Ground]
- Connecter CS à la borne 21 (entrée de l'amplificateur non-inverseur)
- Connecter la borne 22 (sortie de l'amplificateur) à A2
- Connecter la résistance de contrôle du gain entre les bornes 19 et 20
- Faire un clic droit sur le tableau de bord et démarrer `PT100`
- Entrer la valeur de la résistance

Figure 6.5: Photo du montage



Figure 6.6: Courbe du refroidissement de l'eau mesurée à l'aide d'un capteur PT1OO.



- Sélectionner la durée totale et l'intervalle de temps entre les mesures
- Cliquez sur LANCER

Une calibration est nécessaire pour une meilleur précision. Placez le capteur sur de la glace fondante et cliquer sur **`point de fusion`**. Plongez le capteur dans de l'eau bouillante et cliquer sur **`Point d'ébullition`**. Après ce clic, cliquer sur **`Calibrer`**. Une fois que la calibration est faite, la température est déterminée en utilisant les constantes de calibration.

6.5.5 Observation

La courbe de refroidissement d'un échantillon d'eau est montrée à la figure 6.6 .

6.5.6 Discussion

Un capteurPT100 est un élément en platine ayant une résistance de 100 Ω à 0° C. La résistance varie avec la température et des tables sont disponibles pour corréler la résistance et la température. Notre programme fixe un courant de

1 mA à travers le capteur PT100 et mesure la chute de tension à ses bornes. La tension est amplifiée pour augmenter la résolution.

Le programme lit la tension de sortie de l'amplificateur. La tension aux bornes de l'élément PT100 est calculé en divisant cette tension par le gain de l'amplificateur ($G = 1 + \frac{10000}{Rg}$). Comme le courant est connu, la résistance et donc la température peuvent être calculées.

6.6 Contrôleur de température

6.6.1 Objectif

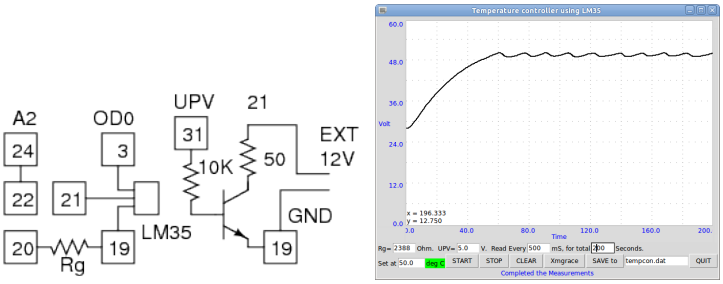
Implémenter une contrôleur de température à l'aide d'un capteur LM35. Un transistor est utilisé en chauffage piloté. On maintient le LM35 pressé contre le corps du transistor avec un peu de pâte conductrice de chaleur.

6.6.2 Matériel

- Un capteur LM35
- Un transistor 2N2222
- Des résistances de $10\,k\Omega$ et $2,4\,k\Omega$

6.6.3 Procédure

Figure 6.7: Mesure de température à l'aide d'un LM35.



- Connecter le LM35 et le transistor comme montré sur la figure
- Coupler les corps du LM35 et du 2N2222 en utilisant la pâte conductrice thermique.
- Utiliser une alimentation continue 12 V externe.
- Cliquer droit et démarrer `Temp Controller`

- Régler la consigne de température et la tension de la base (UPV)
- Cliquer sur START. L'échelle verticale ira de 0 jusqu'à la température de consigne plus 10°.

6.6.4 Observation

La température est tracée en fonction du temps.

6.6.5 Discussion

La température est maintenue à ±0.5° de la consigne. Le LM35 n'a que cette résolution-là. La variation temporelle dépend de la conductivité thermique des corps du LM35 et du 2N2222 et du courant de collecteur.

Chapter 7

Expériences diverses

7.1 Stroboscope

7.1.1 Objectif

Un objet effectuant un mouvement périodique va apparaître stationnaire si on l'illumine avec des impulsions lumineuses de la même fréquence. La raison simple est que l'objet est illuminé à chaque fois qu'il arrive au même point.

7.1.2 Matériel

- Une DEL
- Un moteur à courant continu
- Un bobinage 3000 tours

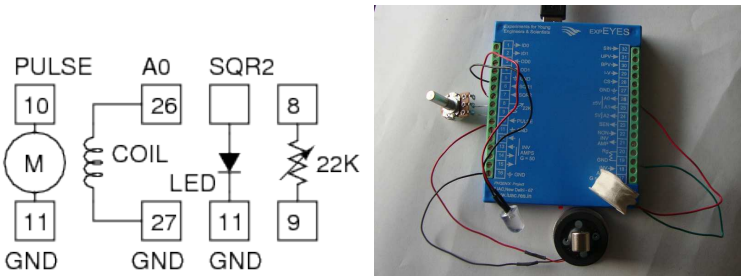
7.1.3 Procédure

- Connecter le moteur à PULSE et à la masse [Ground]
- Connecter la DEL entre SQR2 et la masse [Ground]
- Connecter la résistance de 22 $k\Omega$ pour SQR2
- Régler Pulse à 20 * Régler SQR2 à 20 Hz
- Ajuster la résistance jusqu'à ce que l'axe du moteur apparaisse à peu près stationnaire

7.1.4 Observation

Pendant qu'on ajuste SQR2, Le mouvement du disque sur l'axe du moteur semble ralentir puis à moment donné change de sens apparent de rotation. Prendre note de la fréquence au moment du renversement de sens.

Figure 7.1: Stroboscope utilisant une DEL comme flash. Le courant alternatif récupéré par la bobine à cause de l'aimant tournant est utilisé pour vérifier la vitesse de rotation.



7.1.5 Discussion

Comment ajuste-t-on le compte-tours (RPM) d'un moteur de voiture ?

Quand on l'examine avec une lumière pulsée à une fréquence de 11 Hz, un moteur tournant dans le sens des aiguilles à 10 Hz semblera tourner dans le sens anti-horaire à un tour par seconde.

Pendant l'arrêt et le démarrage, les ventilateurs semblent quelquefois tourner à l'envers, dans la lumière des tubes fluorescents.

7.2 Mesure de transparence

7.2.1 Objectif

Comparer la transmission de la lumière entre différents matériaux semi transparents.

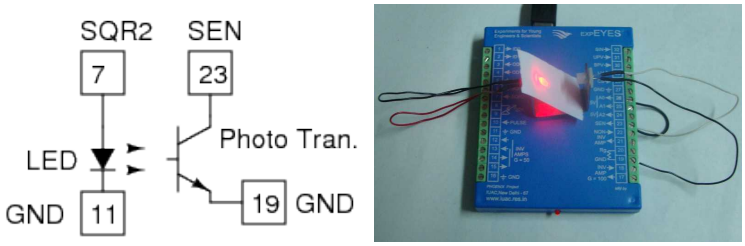
7.2.2 Matériel

- Photo-transistor, DEL et résistance de 10 $k\Omega$

7.2.3 Procédure

- Connecter le collecteur du photo-transistor à SEN.
- Connecter l'émetteur à la masse [Ground].
- Connecter la résistance entre les bornes 8 et 9 (pour SQR2).
- Connecter la DEL entre SQR2 et la masse [Ground].
- Régler SQR2 à 0 pour allumer la DEL
- Faire un clic droit et démarrer le programme `CRO` et sélectionner le canal SEN.

Figure 7.2: Mesure de transmission de lumière à l'aide d'un photo-transistor



- Placer la DEL en face du transistor et prendre note de la tension.
- Placer quelques matériaux semi-transparents entre la DEL et le photo-transistor et voyez la différence.

7.2.4 Observation

La tension diminue quand l'intensité de la lumière décroît sur le photo-transistor. Essayer des DELs de différentes couleurs et comparer les résultats. Essayez les transmission de la lumière rouge à travers des feuilles transparentes Rouge et Verte de la même épaisseur.

7.3 Ondes stationnaires dans une corde

7.3.1 Objectif

Étudier des ondes stationnaires dans une corde tendue excitée par une bobine-relais. On peut varier la tension de la corde en changeant la masse suspendue.

7.3.2 Théorie

La vitesse de propagation du son dans une corde est données par $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, où T est la tension et μ est la masse linéique de la corde. La vitesse vérifie $v = f\lambda$. Sur une corde vibrante, l'harmonique fondamentale a seulement deux nœuds, à chaque extrémité et la longueur de la corde est $L = \lambda/2$.

$f_0 = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Le carré de la fréquence est proportionnel à la tension.

7.3.3 Matériel

- Une bobine de de relais avec amplificateur, alimentée par un adaptateur 12 V (courant alternatif).
- Un potentiomètre de 22 $k\Omega$

7.3.4 Procédure

- Connecter à la terre la masse de expEYES et l'accessoire de corde vibrante.
- Connecter SQR2 à l'entrée de l'amplificateur du relais.
- Connecter le potentiomètre de 22 $k\Omega$
- Régler SQR2 à 30
- Choisir une masse à suspendre de quelques grammes
- Ajuster le potentiomètre de 22 $k\Omega$ pour obtenir l'onde stationnaire fondamentale (un seul ventre)

7.3.5 Observation

M	$Freq$	$M^2/Freq$

La fréquence est proportionnelle au carré de la tension appliquée, dans la limite des erreurs expérimentales.

7.3.6 Discussion

Faites en sorte que la corde ait une moitié avec une masse linéique double de celle de l'autre moitié. Observer les modes plus élevés.

Chapter 8

Accessoires

Chaque expérience réclame que quelque chose soit connecté à l'interface ExpEYES. Ça pourrait juste être un bout de fil électrique ou au contraire un ensemble de capteurs. La collection standard d'accessoires est suffisante pour réaliser la plupart des expériences décrites dans ce manuel. Il y a quelques autres accessoires actuellement disponibles et leur nombre va probablement augmenter.

8.1 La collection d'accessoires standard

Figure 8.1: Collection d'accessoires standard.



La collection d'accessoires standard disponible avec ExpEYES contient les composants suivants. Les valeurs des paramètres, comme l'inductance, sont spécifiées comme valeur nominale, mesurées à partir d'échantillons pris au hasard. Pour connaître les valeurs exactes, il vous faut les mesurer avec un équipement de test adéquat. Pinces crocodiles avec fils

Si ion doit changer la connexion à n'importe quelle borne plusieurs fois pendant une expérience, c'est plus facile de faire la connexion à l'aide de la pince crocodile fournie.

8.1.1 Montage à microphone

Un microphone à condensateur avec une résistance de polarisation et un condensateur pour bloquer la composante continue. Il est censé être branché aux bornes 15 et 16, avec le fil électrique connecté en UPV. Le fil du condensateur va à la borne 15.

8.1.2 Bobinages 3000 tours (2)

Inductance $\approx$ 125 mH, résistance $\approx$ 560 Ω, réalisées en fil de cuivre isolé 44 SWG. Ces bobinages sont utilisés pour étudier l'inductance, l'induction électromagnétique, etc.

8.1.3 Bobinage 1000 tours

Inductance ≈ 4 mH, résistance ≈ 45 Ω, faite en fil de cuivre isolé 40 SWG. Avec le bâton de ferrite en place, l'inductance monte jusqu'à environ 25 mH.

8.1.4 Électro-aimant (avec un noyau en fer)

Inductance ≈ 20 mH, résistance ≈ 45 Ω, faite en fil de cuivre isolé 40 SWG. Ce bobinage a un noyau de fer fixé à l'intérieur et peut être utilisé comme électro-aimant dans quelques expériences. des fils de 50 cm de long sont fournis.

8.1.5 Disques piézo-électriques (2)

Leur fréquence de résonance est environ 4000 Hz. Ils peuvent être alimentés par les sorties SQR1, SQR2 ou PULSE. Les disques sont enfermés dans une coque en plastique qui forme une cavité, et qui augmente l'intensité du son produit.

8.1.6 Haut-parleur (grand)

La résistance du haut-parleur est 150 Ω, différente de celle des hauts-parleurs ordinaires de 8 Ω. Peut être alimenté par les sorties SQR1, SQR2 ou PULSE.

8.1.7 Haut-parleur (petit)

C'est un haut-parleur de basse impédance, mais plus robuste. On l'utilisera aussi comme microphone dans quelques expériences.

8.1.8 Moteur à courant continu

Fixé sur une base métallique. Doit être alimenté par une source de tension inférieure à 3 V. Dans quelques expériences, on alimente le moteur avec la sortie PULSE, avec un rapport cyclique inférieur à 40%. Il est préférable de connecter une diode en série quand le moteur est connecté à la borne PULSE.

8.1.9 Support de transistor

Un connecteur à trois broches pour y insérer des transistors, afin d'en tracer la courbe caractéristique, résistance de 200 $k\Omega$ à la base.

8.1.10 Aimants permanents

- diamètre 10 mm et longueur 10 mm
- diamètre 12 mm et longueur 1,5 mm
- diamètre 5 mm et longueur 10 mm

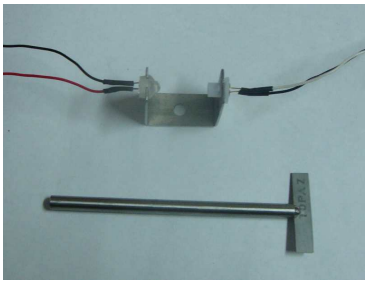
8.1.11 Autres objets

- potentiomètre de 22 $k\Omega$, utilisé pour SQR2.
- Support pour deux piles électriques.
- Disque d'aluminium avec un trou central.
- Bille d'acier doux, D = 10 mm
- Bâton de ferrite, D = 6 mm, L = 20 mm
- Bâton de ferrite, D = 12 mm, L = 50 mm
- DELs 5 mm : Rouge, Bleue, Verte
- DEL 10 mm blanche, équipée de fils
- Condensateurs : 100 μF, 47 μF, 10 μF, 1 μF et 0,1 μF
- Résistance : 100 Ω, 200 Ω, 330 Ω, 560 Ω, 1 $k\Omega$, 10 $k\Omega$ et 100 $k\Omega$
- Diode : 1N4148
- Diode Zéner, $3,3\ V$
- Transistor : 2N2222
- Fils électriques de 15 cm - 5 unités
- Fils électriques de 8 cm - 5 unités
- Tournevis
- Photo-résistance
- Thermistance

8.2 Barrière photo-électrique et pendule pesant

La barrière photo-électrique peut être utilisée pour chronométrer des mouvements mécaniques. Un rayon de lumière arrivant sur le photo-transistor est intercepté et les intervalles de temps sont mesurés. On peut l'utiliser pour trouver la vitesse de rotation d'un moteur, les périodes d'oscillation d'un pendule, etc.

Figure 8.2: Barrière photo-électrique et pendule pesant.



8.3 Émetteur-récepteur piézo ultra-sonores

L'émetteur et le récepteur piézo-électrique 40 kHz ultra-sonores peuvent être utilisés pour étudier le son. La vitesse du son peut être trouvée en mesurant le temps de vol d'un paquet sonore de l'émetteur au récepteur. Le signal à 40 kHz ne peut pas être visualisé correctement en utilisant la fonction oscilloscope d'expEYES, il faut un oscillographe à plus haute fréquence pour voir ces signaux correctement.

Figure 8.3: Émetteur piézo 40 kHz et récepteur.



8.4 Appareil à corde vibrante

Celui-ci est alimenté sous 12 V et piloté par un signal provenant de SQR2. Le signal de SQR2 amplifié pilote la bobine d'un relais et une corde fixée au contact du relais est mise en vibration. Des ondes stationnaires peuvent être formées en ajustant la tension et la fréquence de vibration.

Figure 8.4: Appareil à corde vibrante.

