



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE LARBI TEBESSI DE TÉBESSA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



DOMAINE DE FORMATION : SCIENCES ET TECHNOLOGIES (ST)

Support de Cours
Technologie des composants
électroniques 2

Matière : Technologie des composants électroniques 2
Filière : Electronique
Spécialité : Electronique
Niveau : 3ème Année Licence

Réalisé par : *Dr. AOUCHE Abdelaziz*

Année universitaire : 2021/2022

AVANT-PROPOS

Ce document a été rédigé pour servir de support du cours ***Technologie des composants électroniques 2*** de la licence Électronique et s'adresse principalement aux étudiants de la troisième année. Ce cours décrit les principaux composants électroniques à base de semi-conducteurs et leurs applications principale : Alimentations régulés linéaires, photodiode, photorésistances, les composants de puissance à semi-conducteurs, logiques spéciaux en TTL et CMOS. Il se fixe aussi pour objectif d'apprendre aux étudiants à exploiter la documentation technique fournie par les fabricants des circuits intégrés.

Ce support n'a pas été conçu pour être autosuffisant. La présence au cours et un complément de travail sont indispensables pour arriver à une maîtrise des objectifs visés par le cours. Il vous permettra cependant d'approfondir les aspects qui ne pourront qu'être traités rapidement en cours.

Ce support de cours passe, en effet, progressivement par huit chapitres :

↳ Le premier chapitre est destiné à la conception des alimentations ; la réponse à la question pertinente Pile ou secteur ? et comment on peut distinguer entre les types principaux d'alimentations selon la puissance qu'elles ont à fournir.

↳ Le deuxième chapitre présente les composants actifs de puissance pour chacun des composants qui seront discuter dans ce chapitre on va rappeler

le principe de fonctionnement, propriétés technologiques, réseaux de caractéristiques, symboles, ainsi que des petites schématiques utiles.

↳ Pour le troisième chapitre les composants optoélectroniques seront le sujet principal avec une présentation des LED (Afficheurs 7 segments, 16 segments, matrices 5x7, les cristaux liquides ou LCD), les opto – coupleurs et finalement la pratique de l'infrarouge avec une petite schématique utile.

↳ Le quatrième chapitre illustre les Circuits de la famille TTL Cette famille de composants allie une bonne vitesse de commutation à un faible temps de transfert avec une bonne l'immunité aux parasites à condition de découpler l'alimentation au plus près de chaque circuit par un condensateur de filtrage.

↳ Dans le cinquième chapitre une autre famille connue par la famille CMOS sera discutée qui utilise des transistors à effet de champ, parfois couplés à des résistances on va présenter les différents types NMOS et finalement la CMOS, qui utilise des transistors PMOS et NMOS, sans résistances associées.

↳ L'objectif de sixième chapitre est la récapitulation de deux chapitres précédents c'est les circuits intégrés (CI) logiques spéciaux aussi appelé puces électroniques, sont des composants électroniques, basés sur un semi-conducteur, reproduisant une ou plusieurs fonctions électroniques plus ou moins complexes.

↳ Le septième chapitre présente autres composants et accessoires spécifiques comme le relais, le microphone, le haut-parleur, le buzzer ainsi que le quartz.

↳ Le dernier chapitre est un chapitre d'une seule semaine qui illustre une documentation sur les composants avec des exemples de contenu d'une notice technique de composants les plus utilisés.

Ce cours oral a été enseigné au département de génie électrique, à l'université Larbi Tébessa - TEBESSA - pour les étudiants en formation LMD. J'ai essayé d'en retirer les idées nécessaires, dans un but pédagogique avec des simples exemples comme des démonstrations, mais celles-ci sont également traitées en détail surtout lorsqu'elles sont essentielles à la bonne compréhension du résultat.

Dr. AOUCHE abdelaziz

Semestre: 5

Unité d'enseignement: UED 3.1

Matière 1: Technologie des composants électroniques 2

VHS: 22h30 (Cours: 1h30)

Crédits: 1

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

C'est une continuité de la même matière dispensée en S4 et qui consiste à passer en revue des dispositifs électroniques spécifiques que l'on rencontre habituellement dans les montages électroniques. Il s'agit de les démystifier en exposant leurs caractéristiques générales et leurs applications usuelles.

Connaissances préalables recommandées

Technologie des composants électroniques 1.

Contenu de la matière :

Le nombre de semaines affichées sont indiquées à titre indicatif. Il est évident que le responsable du cours n'est pas tenu de respecter rigoureusement ce dimensionnement ou bien l'agencement des chapitres.

L'esprit de la matière «Technologie des composants électroniques» est conservé. Pour chacun des CI, présenter sommairement les définitions, les domaines d'emploi, les tables de vérité, les architectures internes, les codifications, les boîtiers et brochages, et une petite schématisation utile.

Indiquer également, à chaque fois que c'est possible, la plage d'alimentation des circuits, la consommation en puissance, le courant consommé en entrée, le courant fourni en sortie, la chute de tension, la bande de fréquences de fonctionnement, etc.

Chapitre 1. Conception des alimentations

(1 Semaine)

Pile ou secteur?, les transformateurs, le redressement, le filtrage, la stabilisation de tension, l'alimentation variable, l'alimentation à courant constant, les régulateurs intégrés (Régulateurs 78xx et 79xx, Régulateur LM317), Petite schématisation utile.

Chapitre 2. Composants actifs de puissance

(2 Semaines)

Pour chacun des composants suivants rappeler le principe de fonctionnement, propriétés technologiques, réseaux de caractéristiques, symboles, codification et valeurs typiques, domaines d'utilisation, le thyristor ou SCR, Le thyristor GTO, Le triac, le diac, le transistor à effet de champ (TEC ou FET), le transistor unijonction ou UJT, petite schématisation utile.

Chapitre 3. Composants optoélectroniques

(2 Semaines)

Pour chacun des composants suivants rappeler le principe de fonctionnement, propriétés technologiques, symboles, codification et valeurs typiques, domaines d'utilisation et schémas d'application: les LED (Afficheurs 7 segments, 16 segments, matrices 5x7, les cristaux liquides ou LCD), les cellules photorésistantes, les photodiodes, le phototransistor, le photomultiplicateur, les optocoupleurs, la pratique de l'infrarouge, petite schématisation utile.

Chapitre 4. Circuits de la famille TTL

(2 Semaines)

Caractéristiques des portes logiques de la famille TTL standard, portes à collecteur ouvert, les autres familles TTL, caractéristiques électriques des familles : Tensions d'alimentation, tensions et courants d'entrée et de sortie, niveaux Haut et Bas, immunité aux bruits, sortance, consommation, caractéristiques de commutation: vitesse de commutation, retard de propagation, circuits trois états, Portes logiques à entrées spécifiques : trigger de Schmitt, sorties "bufférisées", précautions d'utilisation des circuits TTL.

Chapitre 5. Circuits de la famille CMOS

(1 Semaine)

Portes logiques P-MOS et N-MOS, logique MOS complémentaire, familles CMOS, caractéristiques électriques des circuits CMOS, interfaçage TTL-CMOS, précautions d'utilisation des circuits CMOS.

Chapitre 6. Circuits intégrés (CI) logiques spéciaux

(2 Semaines)

Technologie TTL ou C.MOS?, récapitulatif des niveaux logiques en entrée et en sortie, les différentes portes logiques, les CI décodeurs, les CI multiplexeurs, les CI comparateurs, les convertisseurs binaire/7segments, les différentes bascules logiques, les CI compteurs (binaires et décades), les CI temporisateurs 555, les CI monostables, petite schématisation utile.

Chapitre 7. Autres composants et accessoires spécifiques

(2 Semaines)

Le relais: fonctionnement, l'alimentation d'un relais, les différents types de relais, les relais statiques, petite schématisation utile, le microphone, le haut-parleur, le buzzer, le quartz.

Chapitre 8. Documentation sur les composants

(1 Semaine)

Principaux constructeurs de composants et sigles d'identification, diverses formes de documents (notes d'application, catalogues, internet, ...) Equivalences, exemples de contenu d'une notice technique de composants les plus utilisés.

Mode d'évaluation :

Examen final : 100 %.

Références bibliographiques:

1. R. Besson, « Electronique à transistors et à circuits intégrés ; Technique et Vulgarisation », 1979.
2. R. Besson, « Technologie des composants électroniques », Editions Radio.
3. M. Archambault, « Formation pratique à l'électronique », Editions ETSF, 2007.
4. B. Woollard, « Apprivoiser les composants », Dunod, 1997.
5. P. Maye, « Aide-mémoire des composants électroniques », Dunod, 2010.
6. P. Mayeux, « Apprendre l'électronique par l'expérimentation et la simulation », ETSF, 2006.
7. R. Mallard, « L'électronique pour les débutants », Elektor, 2012.
8. F. Cerf, Les composants optoélectroniques, Hermes-Lavoisier, 2000.

Table des Matières

<i>AVANT-PROPOS</i>	01
Canevas	04
<i>Chapitre I: Conception Des Alimentations</i>	
I.1. Introduction.....	12
I.2.Généralités.....	12
I.2 .1. Symbole.....	12
I.2 .2. Fonctions	13
I.2 .3. Signaux.....	13
I.2 .4.Méthode de contrôle	13
I.3.Rôles et contraintes générales	13
I.4. Parties principales.....	15
I.4.1. Le redressement mono-alternance.....	15
I.4.2.Le redressement double alternance	15
I.4.2.1. Circuit à deux diodes et transformateur avec point milieu	16
I.4.2.2. Circuit à quatre diodes en pont, appelé pont de GRAETZ	16
I.5.Les circuits de filtrage	17
I.5.1. Les circuits de stabilisation de tension ou régulateur Zener	18
I.6. Alimentation régulée	20
I.6.1. Analyse d'alimentations régulées à transistors.....	21
I.6.2. Les régulateurs intégrés.....	22
I.7. Les multiplicateurs de tension.....	23

Chapitre II : Composants Actifs de Puissance

II.1. Introduction.....	26
II.2. Thyristor.....	26
II.2.1. Symbole.....	27
II.2.2. Principe de fonctionnement	27
II.3. Le Triac.....	33
II.3.1. Principe et fonctionnement	33
II.3.2. Domaines d'application.....	34
II.4. Le Diac.....	35
II.4.1. Déclencheur de Triac à Diac.....	36

Chapitre III : Composants Optoélectroniques

III.1. Introduction.....	39
III.2.1. Principe des diodes électroluminescentes.....	39
III.2.2. Utilisation des diodes électroluminescentes.....	40
III.2.3. Application : afficheur 7 segments.....	42
III.3. Les dispositifs photosensibles.....	42
III.3.1. Phototransistor	43
III.3.2. Fonctionnement.....	43
III.3.3. Applications.....	44
III.4. Photomultiplicateur.....	45
III.4.1. Structure et principe de fonctionnement	46
III.4.2. Photo coupleur.....	46
III.4.3. Composition	48

Chapitre IV : Circuits de la Famille TTL

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Caractéristique.....	50
IV.2.1. La famille TTL	52
IV.2.2. TTL : Série standard.....	52
IV.2.3. TTL : (low power) série à faible consommation.....	53
IV.2.4. TTLS (shottky) : série rapide (utilisation de diodes Schottky).....	54
IV.2.5. TTL (low power shottky) : combinaison des technologies L et S, c'est la famille la plus répandue	55
IV.2.6. TTL (FAST: Fairchild Advanced Schottky Technology)	55
IV.3. Evolutions.....	56
IV.3.1. Exemple : circuit 7400.....	56
V.1. Introduction.....	58
V.2. Portes logiques P-MOS et N-MOS.....	58
V.2.1. Exemple d'application.....	59
V.3. Logique MOS complémentaire.....	60
V.3.1. Exemple d'application.....	61
V.4. Familles CMOS.....	62
V.4.1. Séries HC et HCT.....	62
V.4.2. Séries A C et ACT.....	63
V.4.3. Séries LV, LVC, LVT, ALVC	63
V.5. Interfaçage TTL-CMOS.....	65
V.6. Précautions d'utilisation des circuits CMOS	65
<i>Chapitre VI : Les Circuits Intégrés (CI) logiques spéciaux</i>	
VI.1. Introduction.....	66

VI.2. Classement.....	66
VI.3. Electronique analogique.....	67
VI.4. Electronique numérique.....	67
VI.5. Notion de famille de circuit logique	68
VI.5.1. Notions de niveaux logiques.....	69
VI.5.2. Compatibilité des niveaux logiques.....	70
VI.6. Familles technologiques.....	70
VI.7. Principaux paramètres des familles logiques.....	72
VI. 7.1. Alimentation.....	72
VI.7.2. Marge de bruit	73
VI.7.3. Délai de propagation.....	73
VI.7.4. Sortance	74
VI.7.5. Dissipation de puissance ou consommation	74
VI.7.6. Comparaison technologie TTL et CMOS.....	75
VI.8. Différents types de sorties	76
VI.8.1. Sortie de type "collecteur ouvert ".....	76
VI.8.2. Sortie de type « 3 états »	77
VI.9. Comparaisons CMOS et TTL.....	78
VI.9.1. Pour la marge de bruit	78
VI.9.2. Pour l'intégration des transistors.....	78
VI.10. Tableau récapitulatif et exemples de nom de circuits intégrés.....	79
VI.10.1. Tableau récapitulatif.....	79
VI.11. Exemples de nom de circuits intégrés.....	79
VI.12. Utilisations et tests.....	80

VI.12.1. Technologie TTL	80
VI.12.2. Technologie CMOS.....	82
VI.13. Tests et pannes.....	83
<i>Chapitre VII : Autres Composants et Accessoires Spécifiques</i>	
VII.1. Introduction.....	85
VII.2. Le Relais.....	85
VII.3. Alimentation d'un relais.....	85
VII.4. Les différents types de relais.....	87
VII.4.1. Relais de puissance.....	87
VII.4.2. Relais bistables.....	87
VII.4.3. Relais miniatures.....	88
VII.4.4. Relais HF.....	88
VII.4.5 Relais à faible consommation.....	89
VII.5. Relais statiques (ou relais à état solide)	89
VII.5.1 Avantages du relais statique.....	90
VII.5.2. Inconvénients du relais statique.....	91
VII.6. Petite schématique utile : Commande d'un relais par un interrupteur simple.....	92
VII.7. Les microphones	93
VII.8. Le haut – parleur	93
VII.9. Le Buzzer.....	94
VII.10. Quartz (Électronique)	95
VII.10.1. Usages et Applications	95
VII.10.2. Exemple.....	96

Chapitre VIII : Documentation Sur les Composants

VIII. Introduction	97
VIII.1. Principaux constructeurs de composants et sigles d'identification....	97
VIII.2. Brochage Relais.....	99
VIII.3. Exemples de contenu d'une notice technique de composants les plus utilisés.....	100
VIII3.1. Voiture (A U D I , V W ...)	100
VIII.3.2. Identification des véhicules.....	101
Bibliographies	103

I.1.Introduction

Le terme d'**alimentation électrique** désigne un ensemble de systèmes capables de fournir de l'électricité aux appareils fonctionnant avec cette énergie. Une **alimentation électrique** est en particulier un appareil ou appareillage plus ou moins complexe, destiné à fournir de l'électricité, à partir d'un réseau électrique à un autre appareil. Ce chapitre décrit la différence entre la Pile et le secteur ainsi que les détails de transformateurs et tous les composants liés à l'alimentation avec ces différents types.

I.2.Généralités

I.2 .1. Symbole : L'alimentation étant nécessaire pour tout circuit électronique, elle est souvent représentée uniquement par un rectangle.

I.2 .2. Fonctions : Deux fonctions principales sont toujours demandées à un circuit d'alimentation :

↳ Délivrer une ou plusieurs tensions (ou courants) bien précises et souvent stables.

↳ Fournir une énergie électrique avec un minimum de pertes.

Il peut être demandé en plus des fonctions de régulation ou de protection par exemple.

NB : De plus en plus les circuits électroniques demandent une séparation ohmique (séparation galvanique) avec le réseau de distribution ce qui implique la présence d'un transformateur.

I.2 .3. Signaux

↳ A l'entrée : Généralement alternatif en provenance d'un réseau de distribution électrique.

↳ A la sortie : Une tension souvent continue et constante quelque soit la consommation des circuits utilisateurs.

I.2 .4. Méthode de contrôle : L'idée est de repérer dans un circuit réel l'emplacement des composants "principaux", puis de repérer les composants supplémentaires afin d'en rechercher leur utilité ou leur fonction.

I.3.Rôles et contraintes générales

Dès que nous entendons parler d'appareils ou de circuits électroniques, nous sommes sûrs de rencontrer une partie alimentation à l'intérieur. En fait, nous pouvons même inverser le raisonnement. Dès qu'une alimentation est nécessaire, nous avons à faire à un appareil ou circuit électronique.

Aucun circuit électronique ne peut fournir quoi que ce soit s'il ne peut pas puiser une énergie électrique quelque part ! Les appareils fixes, dits "de table", reçoivent l'énergie électrique par le réseau électrique, alors que les appareils portatifs la reçoivent par des piles ou accumulateurs.

I.4. Parties principales

A l'exception de certains moteurs et grandes machines industrielles, tous les circuits électroniques nécessitent des tensions (ou courants)

continus. Or, la grande majorité des appareils "de table" sont raccordés au réseau électrique, nous disons dans la pratique qu'ils sont raccordés au "secteur".

Un transformateur peut être présent pour délivrer plusieurs tensions alternatives de diverses valeurs et effectuer une séparation galvanique. La séparation galvanique consiste à séparer le secteur des pièces métalliques du châssis de l'appareil appelé "chassis" ou "masse" de l'appareil. Nous parlons de "chassis chaud" lorsqu'il n'y a pas de séparation ou sinon de chassis froid. La séparation galvanique permet également de relier le chassis aux connexions externes de l'appareil.

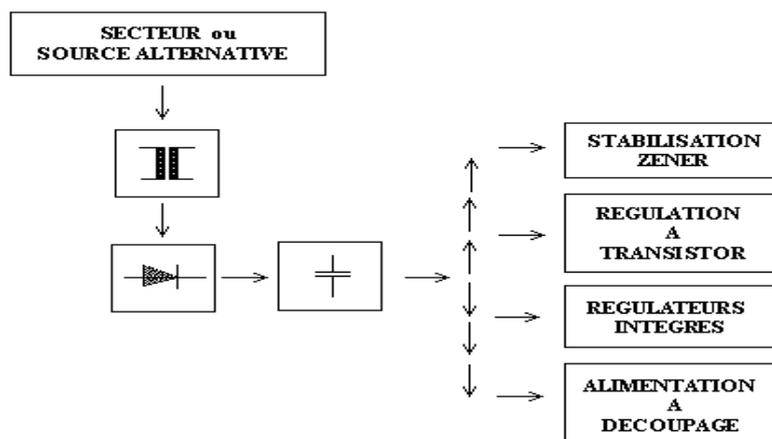


Fig. I.1 : Principe de l'alimentation

Il y a toujours la présence d'un premier condensateur directement à la sortie du redresseur, appelé condensateur tampon. Il empêche l'alternance redressée de descendre à zéro volt. Cela augmente la tension continue moyenne et diminue par conséquent la tension d'ondulation résiduelle.

Enfin, les circuits électroniques ne se contentent pas d'une alimentation quelconque, mais demande, pour un bon fonctionnement, une tension (ou courant) continue de très grande stabilité. C'est pourquoi nous rencontrons des circuits de stabilisation ou de régulation. Les représentations temporelles, visualisable à l'aide d'un oscilloscope, permettent d'illustrer cette contrainte :

Les trois circuits fondamentaux de redressement décrits ci-dessous donnent un aperçu de la grande majorité des montages rencontrés dans la pratique.

I.4.1. Le redressement mono-alternance

Ce redressement s'obtient à l'aide d'une diode en série avec la résistance de charge R_{ch} . C'est le circuit de redressement le plus simple que nous pouvons rencontrer.

I.4.2. Le redressement double alternance

I.4.2.1. Circuit à deux diodes et transformateur avec point milieu

Ce premier schéma de principe indique un montage qui nécessite un transformateur. Le bobinage secondaire est réalisé avec une connexion supplémentaire qui se nomme point milieu. Ce système de redressement porte le nom de redressement double alternance avec deux diodes et transformateur à point milieu. Le transformateur doit être considéré comme un double générateur de tensions alternatives dont les tensions de sorties $U_{S1} = U_{S2}$, de même polarité en même

temps. Pour le fonctionnement de ce montage, le transformateur est obligatoire.

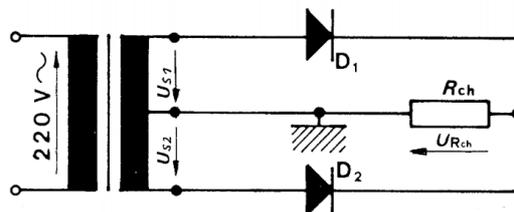


Fig. I.2 : Redressement double alternance

I.4.2.2. Circuit à quatre diodes en pont, appelé pont de GRAETZ

Dans ce cas, le plus répandu pour les courants importants, deux diodes conduisent en même temps, alors que les deux autres sont bloquées.

Les deux alternances se retrouvent sur Rch et de même polarité. Les deux alternances sont redressées comme pour le cas précédent.

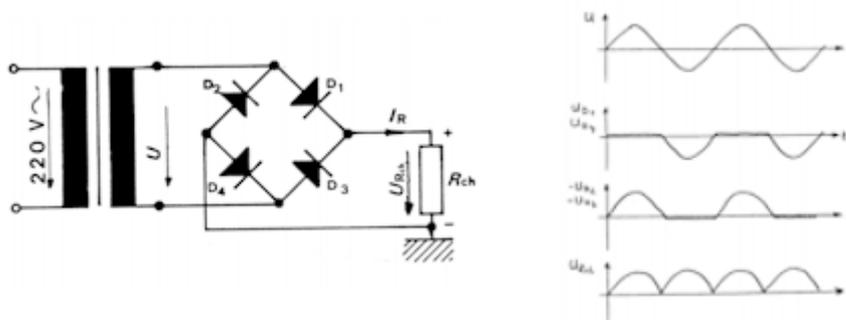


Fig. I.3 : Pont de GRAETZ

Chacun de ces circuits de redressement ayant ses avantages et inconvénients, nous les rencontrons tous dans les appareils audio-vidéos.

Les limites de fonctionnement de ces montages sont imposées par le courant direct maximum des diodes ainsi que par la tension inverse

maximum. Si l'une ou l'autre de ces deux caractéristiques sont dépassées, la diode en question devient détruite, soit coupée soit en court-circuit.

I.5. Les circuits de filtrage

Les cellules de filtrage RC ou LC ont pour but de diminuer la tension d'ondulation. Le rapport de la tension d'ondulation d'entrée avec l'ondulation de la sortie est appelé facteur de filtrage S .

Ce facteur traduit en formule, donne $S = U_{\text{ond entrée}} / U_{\text{ond sortie}}$. Plus le facteur est élevé, meilleur sera le filtrage et plus petite sera la tension

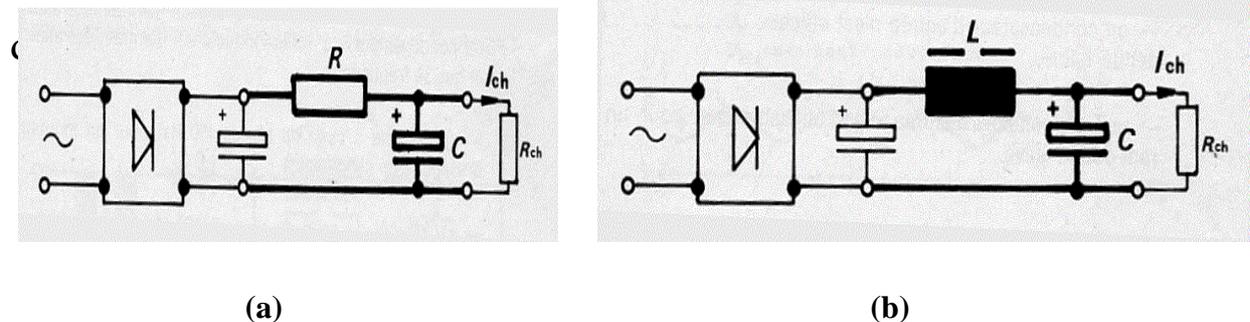


Fig. I.4: (a) Filtre RC, (b) Filtre LC

→ Les circuits RC sont les plus simples et moins coûteux mais présentent l'inconvénient de diminuer la tension moyenne de sortie. Ils ne conviennent que pour de faibles courants.

→ Les circuits LC ont un meilleur facteur de filtrage mais ne sont efficaces que pour des courants relativement importants (>20-30mA).

Pour l'alimentation d'un appareil dans lequel transite un signal, généralement très petit à l'entrée et grand à la sortie, le filtrage est

effectué successivement. Un bon filtrage doit absorber les différentes consommations des étages successifs.

I.5.1. Les circuits de stabilisation de tension ou régulateur Zener

Si l'étage consommateur (R_{ch}) de l'alimentation continue nécessite une tension très stable malgré des variations de consommation brusques ou lentes. C'est l'une des applications fréquente des diodes Zener qui consiste à obtenir une tension constante malgré une variation de la tension d'entrée et/ou une consommation variable de la charge. Le circuit en est le suivant :

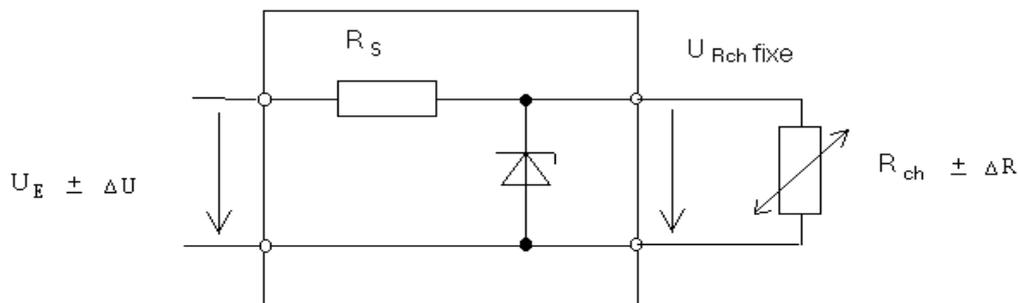


Fig. I.5 : Régulateur Zener

Pour le fonctionnement du montage, il est impératif que la diode Zener fonctionne dans la zone de claquage.

$$I_{ZMIN} < I_Z < I_{ZMAX} \text{ avec } U_Z \sim U_{ZNOM} \sim U_{Rch}$$

Il faudra pour cela contrôler si la tension d'entrée est suffisante et aussi surveiller que le courant dans la diode Zener ne descende pas en dessous d'un minimum, ce qui entraînerait le blocage de la diode. La régulation fonctionne comme suit :

a) Variation de la tension d'entrée

Une augmentation de la tension d'entrée entraîne une forte augmentation du courant Zener de telle manière que l'augmentation de la tension d'entrée $\pm \Delta u_E$ est répercutée sur la résistance série R_S ($\pm \Delta u_E = \pm \Delta u_{RS}$). De ce fait, la tension sur la charge ne varie pas.

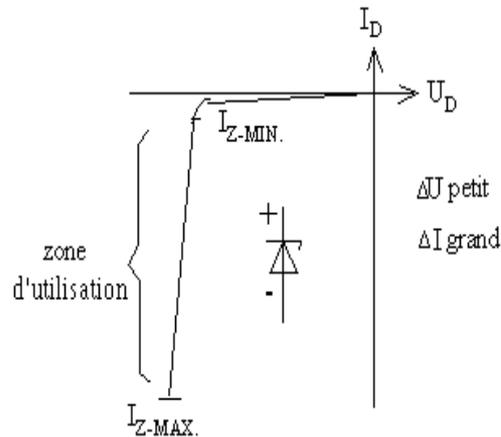


Fig. I.6 : Variation de tension Zener

b) Variation du courant de charge

Une augmentation du courant dans la charge a pour conséquence une diminution du courant dans la Zener, ce qui maintient constant la chute de tension dans R_S , et donc la tension sur la charge ne varie pas. Le prix à payer est la puissance dissipée par la diode qui doit supporter des variations de courants plus élevées que les variations de consommation de la résistance de charge. Les circuits de stabilisation Zener se rencontrent pour les circuits électroniques petits signaux, comme circuits d'entrées, de mesures ou de commandes.

I. 6. Alimentation régulée

Une alimentation régulée permet de maintenir une tension de sortie constante sur une résistance de charge, malgré des variations de la

résistance de charge et malgré des variations de la tension continue d'entrée.

La stabilisation à l'aide d'une diode Zener ne permet pas de transiter des courants très importants. Pour pallier à cet inconvénient, un transistor est inséré en série avec la résistance de charge. Il fait office de générateur de courant commandé.

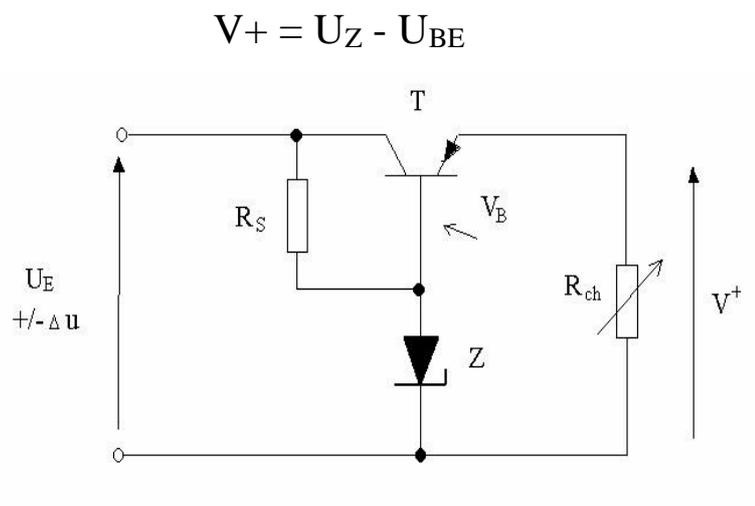


Fig. I.7 : Variation de courant Zener

La diode Zener fixe le potentiel à la base du transistor. Si la résistance de charge diminue de valeur, le transistor débite un courant plus important afin de rétablir la tension de sortie V_+ à la valeur fixée :

La tension de sortie V_+ est fixée par un système automatique et actif (avec composant amplificateur).

La tension de sortie V_+ est appelée tension régulée.

I.6.1. Analyse d'alimentations régulées à transistors

Le schéma ci-dessous donne un exemple de réalisation d'un régulateur de tension. La tension de sortie est réglable. Tout d'abord,

nous cherchons à délimiter les différentes parties qui composent cette alimentation.

Le maintien de la tension de sortie à une valeur constante agit continuellement. C'est le principe même de la régulation. Ensuite, nous pouvons calculer aisément les valeurs limites de la tension de sortie :

$$V^+ \cong (U_{réf} + U_{BET2}). (1 + \frac{R_1}{R_2})$$

Comme le potentiomètre permet de modifier le rapport R_1/R_2 , nous pouvons calculer facilement les valeurs de V^+ pour les deux extrémités du potentiomètre.

Ci-dessous un exemple de circuit fonctionnant avec un amplificateur opérationnel. Celui-ci délivre une tension de commande U_{BT1} proportionnelle aux variations de la tension d'entrée de l'amplificateur opérationnel U_{EOP} . ($U_{EOP} = V_{E+} - V_{E-}$).

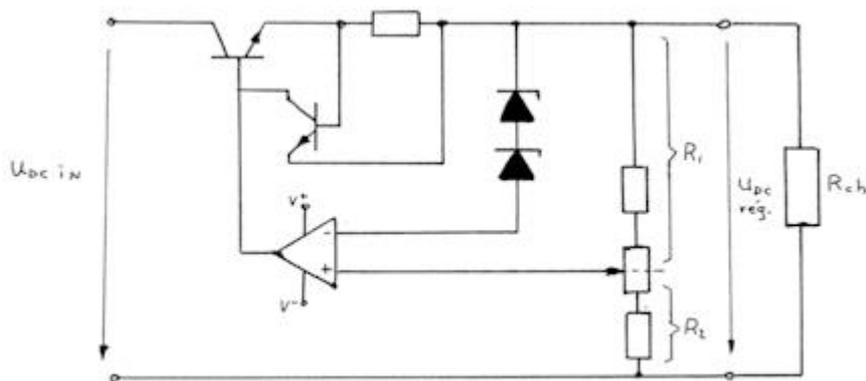
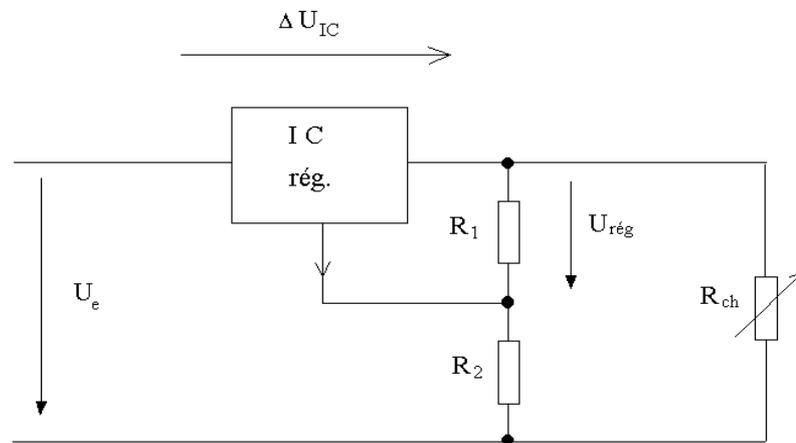


Fig. I.8 : Un régulateur de tension

I.6.2. Les régulateurs intégrés

Ce sont des circuits de régulation réalisés dans un seul boîtier de faible volume ne nécessitant pas de mise au point. Les régulateurs les plus rencontrés actuellement sont les circuits à trois bornes.

Le circuit intégré (IC) délivre une tension stable entre la borne de sortie (2) et la borne intermédiaire (3), tension appelée $U_{\text{rég}}$. L'IC maintient cette tension régulée si la tension à l'entrée est au minimum de 2 à 3 volts supérieure à la tension de régulation $U_{\text{rég}}$.



$$\Delta U_{\text{IC MIN}} \cong 2 \text{ à } 3 \text{ V (2V usuel)}$$

Fig. I.9 : Un régulateur intégré (IC)

Dans ce cas, la formule permettant de calculer la tension de sortie vaut :

$$U_S = U_{\text{rég}} + \left(I_Q + \frac{U_{\text{rég}}}{R_1} \right) \cdot R_2$$

Et si le courant de queue I_Q est négligeable par rapport à I_{Rch} , la formule devient :

$$U_S \cong U_{rég} \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \text{ (si } I_Q \text{ négligeable)}$$

Le courant I_Q est un courant très faible par rapport au courant principal I_{Rch} . Ce qui permet de dire que la puissance dissipée par le circuit intégré vaut environ :

$$P_{IC} = \Delta U_{IC} \cdot I_{Rch}$$

Suivant le branchement externe, on obtient deux utilisations différentes :

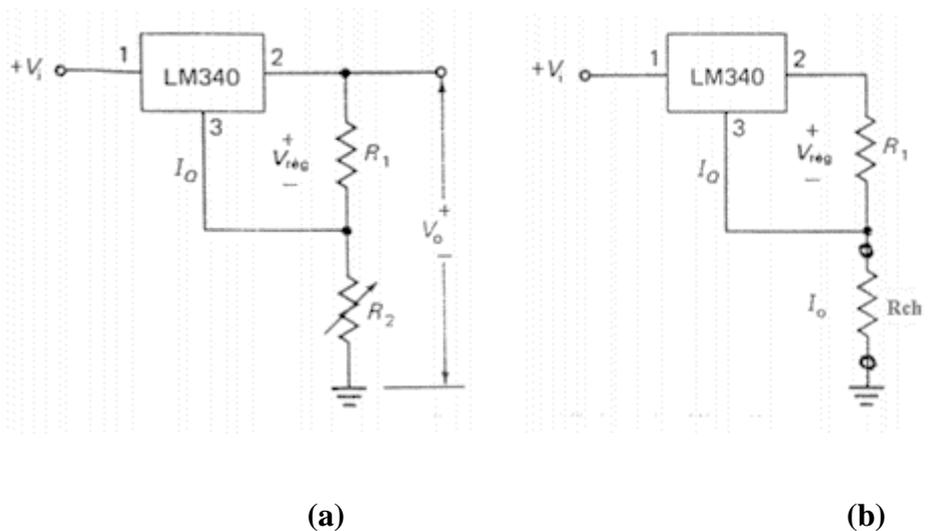


Fig. I.10 :(a) Tension de sortie réglable, (b) Courant de charge régulé

I.7. Les multiplicateurs de tension

Les multiplicateurs de tensions sont généralement utilisés pour produire de hautes tensions de plusieurs centaines de volts à quelques

milliers de volts. Le principe repose sur la charge d'un condensateur au travers d'une diode pendant une alternance de la tension alternative d'entrée. En répétant ce montage, nous obtenons des doubleurs, tripleurs ou encore multiplicateurs de tension.

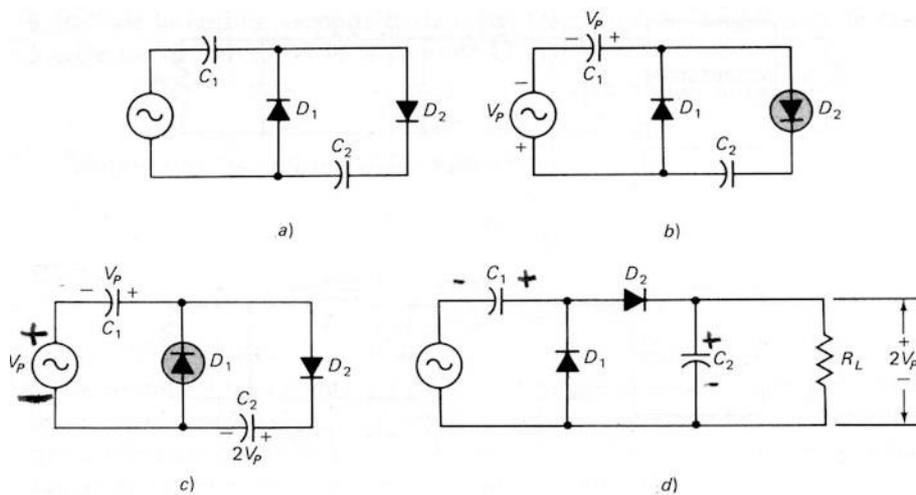


Fig. I.11 : Les multiplicateurs de tension

Sur la partie b) de la figure ci-dessus, la diode D_1 conduit et charge C_1 à la valeur de crête V_p . Et sur la partie c), c'est la diode D_2 qui conduit et charge le condensateur C_2 . Dessiné autrement, nous constatons sur la partie d) que la résistance de charge R_L est aux bornes de C_2 et qu'il est possible d'avoir une connexion commune du générateur d'entrée à la résistance de charge.

Ces circuits sont rencontrés généralement dans un seul boîtier car le fabricant s'expose à des dangers d'isolation (dès 2-3 kV). De plus, ces alimentations ne peuvent alimenter que des circuits à grande résistance de charge, la tension d'ondulation devenant très vite importante.

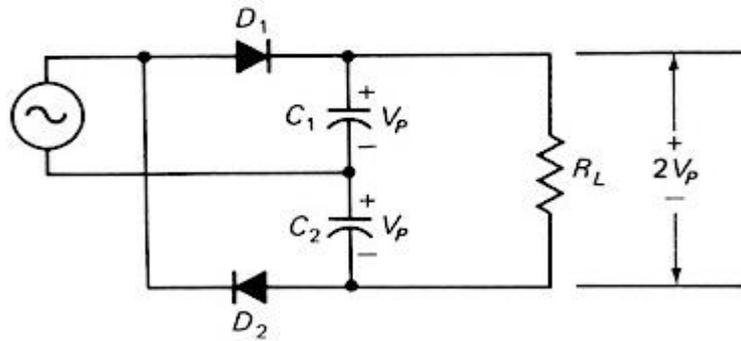


Fig. I.12 : Un doubleur à deux diodes

Sur le doubleur ci-dessus, chaque diode conduit pendant une demi-période de la tension alternative d'entrée. C_1 est chargé à la valeur de crête alors que C_2 à la valeur de creux de la tension d'entrée.

La tension d'ondulation sur la résistance de charge est doublée, ce qui peut faciliter le filtrage. Mais là aussi ces doubleurs ne conviennent que pour des courants d'utilisations très faibles, car la tension d'ondulation devient très vite très élevée.

Les limites de fonctionnement de ces montages sont imposées par le courant direct maximum des diodes ainsi que par la tension inverse maximum. Si l'une ou l'autre de ces deux caractéristiques sont dépassées, la diode en question devient détruite, soit coupée soit en court-circuit.

II.1. Introduction

Un composant actif est un composant électronique qui permet d'augmenter la puissance d'un signal (tension, courant, ou les deux). La puissance supplémentaire est récupérée au travers d'une alimentation. On peut citer en majorité des semi-conducteurs, on y classe : diode, transistor, circuit intégré, thyristor...etc.

Les deux plus importants composants actifs de puissance sont le **thyristor** et le **thyristor triac**.

II.2. Thyristor

Les premiers thyristors commerciaux sont sortis en 1956. Leur capacité à commander une grande quantité de puissance et de tension associée à une grande compacité leur a permis de trouver de nombreux champs d'applications dans l'électronique de puissance.

Le thyristor est un élément semi-conducteur assez similaire à la diode à jonction, utilisé pour le redressement du courant alternatif. Comme la diode, il laisse passer le courant électrique dans un seul sens, de l'anode (A) à la cathode (K). Cependant, le thyristor possède une troisième électrode : la gâchette (G, en anglais gate). Le thyristor ne conduira que si un courant minimum et positif est fourni à la gâchette. Le thyristor est parfois dénommé SCR (Silicon Controlled Rectifier, soit « redresseur silicium commandé »)

II.2.1. Symbole

Le symbole électrique d'un thyristor est

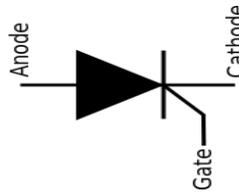


Fig. II.1 : Le thyristor

II.2.2. Principe de fonctionnement

Le thyristor est un composant électronique semi-conducteur à trois bornes composées de quatre couches de silicium dopées alternativement par des accepteurs (P) et des donneurs (N). La structure en couches P-N-P-N du thyristor peut être modélisée par deux transistors PNP et NPN connectés selon le schéma ci-dessous. Les deux bornes principales : l'anode et la cathode, se situent de part et d'autre des quatre couches. La troisième borne, appelée gâchette, sert à commander le thyristor, elle est reliée à la couche P près de la cathode. On peut modéliser le fonctionnement d'un thyristor par deux transistors bipolaires connectés de manière à former une bascule :

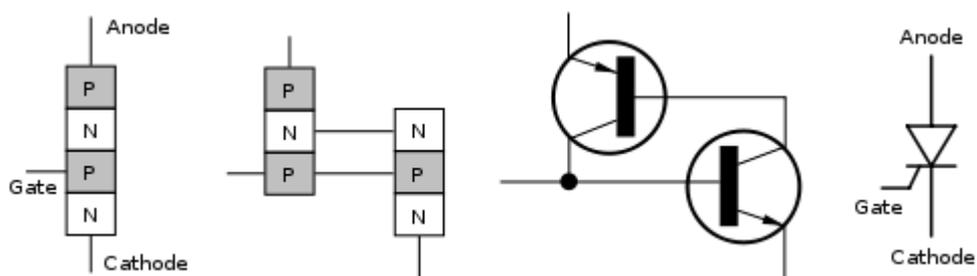


Fig. II.2 : La structure en couches du thyristor

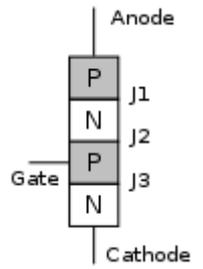
En suivant la convention réceptrice on peut définir :

- V_{ak} tension entre l'anode et la cathode du thyristor ;
- V_{gk} tension entre la gâchette et la cathode ;
- I_{ak} courant considéré comme positif lorsqu'il traverse le thyristor de l'anode vers la cathode ;
- I_{gk} courant considéré comme positif une fois il rentre sur la gâchette.

Un thyristor a trois états possibles :

- ↪ Tension négative, thyristor bloqué : V_{ak} est négatif, comme une diode dans ce cas, il est bloqué ;
- ↪ Tension positive, thyristor bloqué : V_{ak} est positif, mais I_{gk} est nul. À la différence d'une diode, le thyristor est bloqué ;
- ↪ Tension positive, thyristor passant : V_{ak} est positif (supérieure à la tension de seuil), une impulsion d'un courant I_{gk} positive a été donnée entre la gâchette et la cathode. Le thyristor est passant : il conduit, le courant I_{ak} traverse le thyristor de l'anode vers la cathode. Lorsque celui-ci dépasse initialement la valeur du courant de verrouillage, le thyristor reste conducteur tant que le courant ne descend pas en dessous d'une certaine valeur, appelée courant de maintien. Il se comporte à nouveau comme une diode. Il y a une chute de tension aux bornes du thyristor, légèrement plus grande que la tension de seuil, de l'ordre de 1 ou 2 V.

Le fonctionnement du thyristor peut être expliqué d'une autre manière. Comme le thyristor possède trois jonctions P-N, nommées J1, J2, J3 (à partir de l'anode (voir ci-dessus)), alors V_{AK} est positive (anode positive par rapport à la cathode), mais qu'aucun courant n'entre par la gâchette, les jonctions J1 et J3 sont polarisées positivement (tension positive sur P par rapport à N), tandis que J2 est polarisée négativement (tension positive sur N par rapport à P). J2 empêche donc la conduction.



La caractéristique I-V d'un thyristor est présentée sur la figure ci-contre ;

Les points de 1 à 6 présentent respectivement :

- 1 :Avalanche, ou tension de claquage négative.
- 2 :Courant inverse.
- 3 :Courant de fuite direct.
- 4 :Tension d'amorçage (tension de « claquage » positive) directe.
- 5 :Courant de maintien.
- 6 :Courant de conduction.

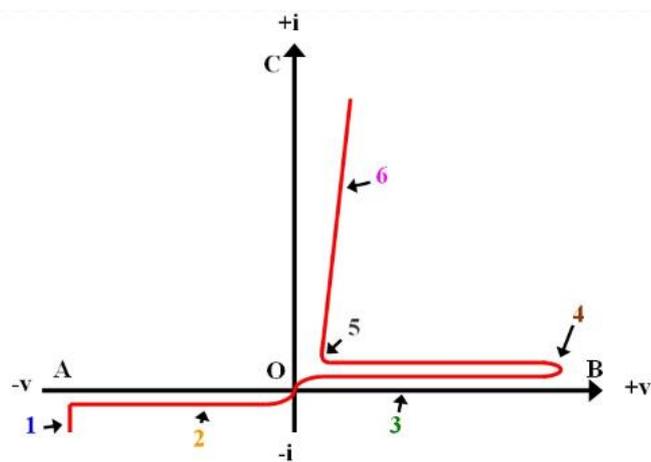


Fig. II.3 : La caractéristique I-V d'un thyristor

Si la tension V_{ak} dépasse la valeur de la tension d'amorçage (4 sur la caractéristique), alors la jonction J2 se met à conduire, le thyristor aussi (6 sur la caractéristique).

Si V_{gk} est positive, alors la valeur de la tension d'amorçage diminue : V_{ak} doit être plus faible pour que le thyristor conduise. En choisissant judicieusement I_{gk} , on peut amorcer facilement le thyristor.

Une fois que l'effet d'avalanche a eu lieu, le thyristor continue à conduire quelle que soit la valeur du courant de gâchette jusqu'à ce que, soit :

- Le courant I_{ak} devienne inférieur à la valeur du courant de maintien (5 sur la caractéristique) ;
- Ou V_{ak} devienne négative

V_{gk} peut donc être délivrée de manière impulsionnelle, par exemple grâce à la tension de sortie d'un oscillateur de relaxation de type transistor **uni-jonction**.

Quand le thyristor se trouve dans un système en courant alternatif sinusoïdal, ce qui est généralement le cas, il est d'usage de définir le retard t_0 , entre le moment où V_{ak} devient positive et le début de l'impulsion de la gâchette, par un angle, appelé « angle de retard à l'amorçage (ou à l'ouverture) » et noté α , tel que :

$$\alpha = \omega \times t_0.$$

La gâchette est caractérisée par sa tension d'amorçage, notée V_{gk} , et son courant d'amorçage, noté I_{gk} ; le circuit de commande doit être tel que la droite de charge du générateur soit placée dans la partie de l'amorçage sûr de la caractéristique tension/courant de la jonction

gâchette-cathode. La durée de l'impulsion dépend de la nature de la charge, en cas de charge inductive l'impulsion doit avoir une durée supérieure au temps nécessaire pour que le courant I_{ak} dépasse la valeur du courant de maintien I_H . Le temps total d'amorçage du thyristor (délai d'amorçage plus temps d'amorçage) est dépendant de l'amplitude du courant de gâchette, plus ce courant est élevé plus le temps est court et inversement.

a) Applications

Les thyristors sont principalement utilisés lorsque la tension, le courant ou les deux sont élevés. Ils permettent de régler alors l'amplitude du courant appliqué à une charge. Leur ouverture est en général provoquée par le passage par zéro du courant : par commutation par la ligne. Selon les applications, le réglage peut être réalisé par variation de l'angle de retard à l'ouverture.

Ils servent dans les convertisseurs statiques tels que les gradateurs, les redresseurs pilotés, les onduleurs, pour la commande des moteurs électriques, que ce soit dans l'industrie, le ferroviaire, l'avionique ou l'automobile, pour les lignes électriques HVDC, etc. Ils sont particulièrement adaptés quand la puissance est élevée mais la fréquence basse.

Dans le domaine courant, on trouve :

- Thyristor à faible courant $<1A$
- Thyristor à courant fort 1 à 35A
- Thyristor de forte puissance 35 à 150A

b) Exemple d'application

Une application courante du thyristor est : **Le variateur de vitesse** représenté sur la figure ci-dessous.

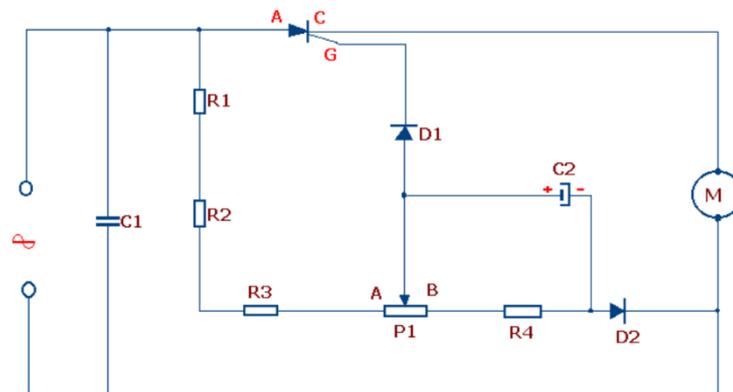


Fig. II.3. : Un variateur de vitesse

En insérant le dispositif entre le secteur et le moteur M, la vitesse de ce dernier diminue ; on utilise que les alternances positives pour l'alimenter. Pour diminuer la vitesse du moteur, on agit sur le potentiomètre P1.

Il faut remarquer un fait essentiel : la diminution de la vitesse s'effectue sans réduire la tension appliquée au moteur (sauf à très basse vitesse) mais uniquement en agissant sur le temps de conduction. Cela signifie que le moteur conserve pratiquement toute sa puissance, quel que soit son régime.

Dans un circuit de ce type, la tension de commande de la gâchette est obtenue par un pont diviseur R1, R2, R3 branché entre l'anode du thyristor et P1.

A la fin de toute alternance positive, la tension secteur s'annule, interrompant la conduction du thyristor.

Pendant les alternances négatives, les diodes D1 et D2 sont polarisées en sens inverse et le système reste bloqué.

II.3. Le Triac

II.3.1. Principe et fonctionnement

Le triac est un dispositif semi-conducteur à 3 électrodes pouvant passer de l'état bloqué à l'état de conduction dans ses deux sens de polarisation. En d'autres termes, il s'agit d'un composant de la même famille que le thyristor, mais bidirectionnel (le thyristor étant unidirectionnel). Le triac peut d'ailleurs être comparé à deux thyristors opposés commandés par une seule gâchette (monté tête-bêche).

La figure ci-dessous donne la disposition des jonctions et sa courbe de fonctionnement dans les quadrants 1 et 3. Le dispositif doit fonctionner dans les deux polarités du courant alternatif. On ne peut plus nommer les électrodes anode et cathode comme les thyristors. On le désigne par B1 et B2. La gâchette est prise à la fois sur N3 et P2.

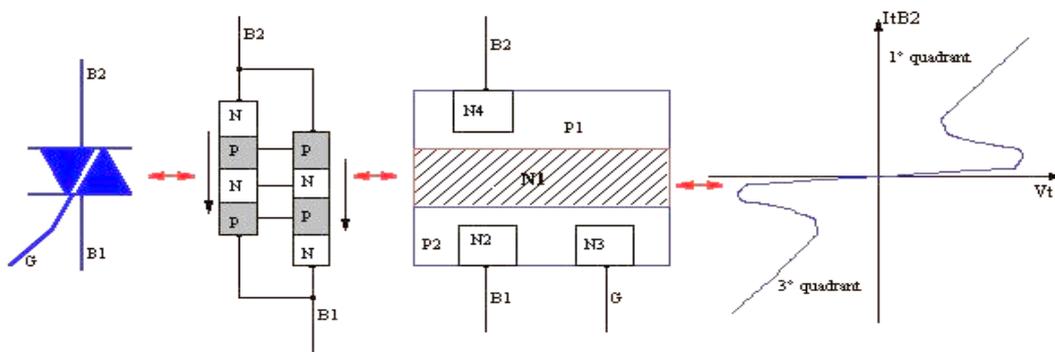


Fig. II.4. : Principe et fonctionnement du Triac

La borne B1 est reliée à la fois sur N2 et P2, et la borne B2 sur N4 et P1.

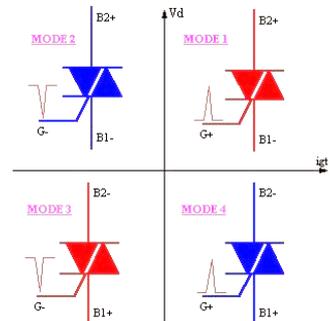
La figure suivante montre les 4 modes possibles de fonctionnement

Mode 1: 1° quadrant: B2=positif, B1=négatif, G=impulsion positive;

Mode 2: 2° quadrant: B2=positif, B1=négatif, G=impulsion négative;

Mode 3: 3° quadrant: B2=négatif, B1=positif, G=impulsion négative;

Mode 4: 4° quadrant: B2=négatif, B1=positif, G=impulsion positive



Une fois enclenché par une impulsion sur la gâchette, le triac laisse passer le courant tant que celui-ci est supérieur à un seuil appelé courant de maintien.

En l'absence de signal sur la gâchette, le dispositif peut être considéré comme deux redresseurs polarisés en sens inverse. Aucun courant ne circule dans le triac, donc dans la charge (sauf un très léger courant de fuite).

De par cette structure, le triac est utilisé pour contrôler le passage des deux alternances d'un courant alternatif (alors que le thyristor ne peut conduire que pendant une seule alternance).

II.3.2. Domaines d'application

Eclairage : Gradateur de lumière

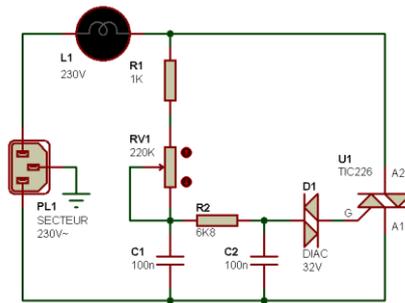


Fig. II.5. : Gradateur de lumière

II.4. Le Diac

Le diac est un composant à 3 couches PNP possédant deux sorties "P", la couche intermédiaire "N" n'est pas accessible, sa caractéristique est symétrique, il est commuté de l'état bloqué à l'état passant par déplacement de sa tension de claquage.

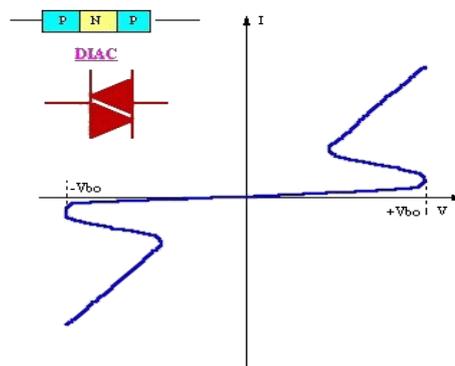


Fig. II.6. : Le principe du Diac

- Tension de retournement $V_{b0}=28$ à 36 volts –
- Tension de sortie $V_0 > 5$ volts. $dv/dt=10$ v/ms.
- Courant de retournement < 100 microampère.

La caractéristique à résistance négative du diac lors du retournement permet de l'utiliser dans un montage relaxateur.

II.4 .1. Déclencheur de Triac à Diac

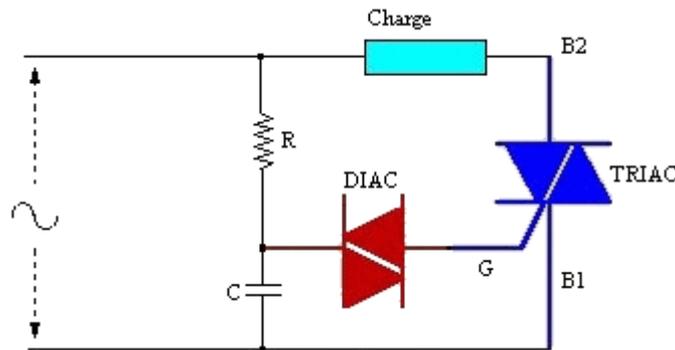


Fig. II. 7. : Déclencheur Triac Diac

Le schéma ci-dessus est à déclenchement très simple. Le réseau déphaseur RC charge la capacité. Lorsqu'elle atteint une tension aux bornes, supérieure à la tension de retournement du Diac, ce dispositif fournit une impulsion positive sur la gâchette du triac, qui est mis en conduction. En rendant R ajustable, on modifie la constante de temps du circuit et le moment de commutation par rapport à la sinusoïde du secteur. Le déclenchement s'effectue dans les modes 1 et 3 du triac. La décharge par le Diac d'un condensateur de $0,1 \mu\text{F}$ permet le déclenchement de tous les triacs courants. On contrôle ainsi la puissance commutée par le triac pour l'installation.

Ce montage est à commande de phase et est donc affectée d'une hystérésis de commande et d'un fonctionnement incertain sur charge inductive. C'est pourquoi les schémas de gradateurs de lumière prévoient un dispositif éliminant cette hystérésis.

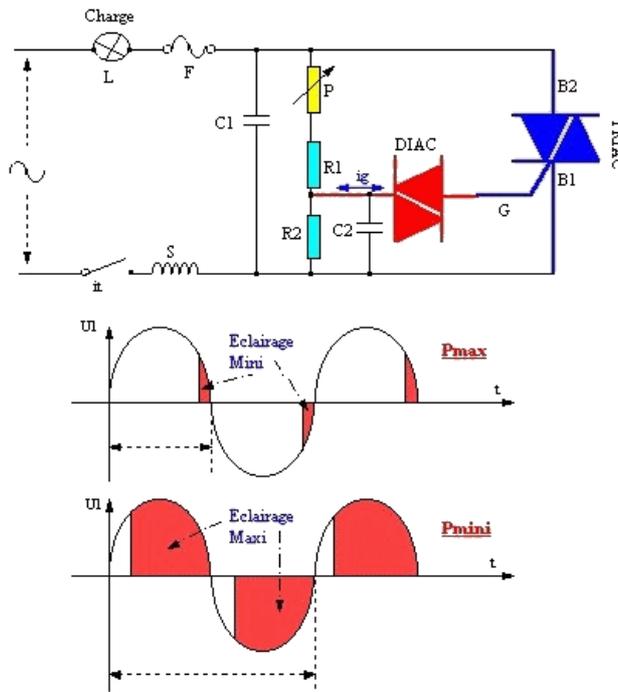


Fig. II.8 : Hystérésis de commande

Utilisons le schéma ci-dessus. La lampe "L" est alimentée à travers le fusible "F", le triac "T", l'inductance "L" et l'interrupteur "It" associé au potentiomètre "P".

Le triac est déclenché à chaque demi-alternance du secteur par le diac, qui fournit une impulsion positive pour cette demi-alternance et une impulsion négative pour la suivante.

La tension fournie en sens convenable, au Diac par R2C2. Lorsque "P" est ici à sa valeur maximale, le courant dans "P, R1, R2" est faible et C2 se charge lentement. Il atteint la tension de déclenchement aux bornes presque à la fin de l'alternance, l'éclairage de la lampe est très faible.

Lorsque "P" est à sa valeur minimale, le courant dans "P, R1, R2" est plus important et C2 se charge rapidement. La tension de

déclenchement est atteinte au début de la demi-alternance, l'éclairage de la lampe est maximal. La puissance transmise à la lampe est proportionnelle à la surface hachurée de chacune des demi-alternances. La forme du signal est loin de la sinusoïde et crée des harmoniques de rang élevé, sous la forme de parasites radios électriques. La bobine "L" et la capacité "C" sont indispensables pour atténuer la constante de temps $R2C2$, diminue les phénomènes d'hystérésis à l'allumage et à l'extinction.

III.1. Introduction

Les dispositifs optoélectroniques sont présents dans tous les domaines de l'électronique. La diode électroluminescente a remplacé le voyant à incandescence, la barrette lumineuse (bar graph) a supplanté le galvanomètre à aiguille dans les applications "grand public" et l'afficheur sept segments a détrôné le tube Nixie. Mais cet essor de l'optoélectronique a surtout permis la réalisation de composants tels que les photo- coupleurs, massivement utilisés dans l'industrie pour assurer l'isolement galvanique des circuits, les modules interrupteurs ou réflecteurs utilisés comme capteurs ou les composants de transmission par fibre optique.

Les progrès réalisés dans les domaines de l'optoélectronique et de la photo-électricité ont abouti à la commercialisation de composants massivement utilisés dans l'industrie, notamment les diodes électroluminescentes (LED), les photodiodes, les coupleurs optoélectroniques...etc

III.2. Les diodes électroluminescentes

Depuis 1956, on sait qu'une jonction PN parcourue par un courant direct émet une radiation lumineuse. Cependant, en raison de difficultés technologiques, il a fallu attendre 1964 pour voir apparaître sur le marché des diodes émettant une radiation lumineuse dans le visible.

III.2.1. Principe des diodes électroluminescentes

Considérons une jonction PN polarisée dans le sens direct et parcourue par un courant I_F

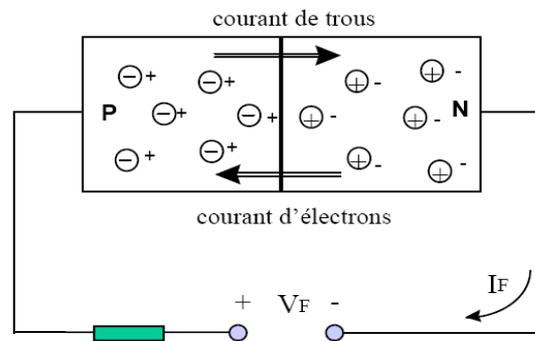


Fig. III.1 : Injection des porteurs minoritaires dans une jonction PN.

A l'intérieur du matériau, il y a injection de trous dans la zone N et d'électrons dans la zone P : c'est le phénomène d'injection des porteurs minoritaires.

Statistiquement, un certain nombre de porteurs minoritaires se recombinent en libérant de l'énergie. En effet, lorsqu'un électron libre rencontre un trou (c'est-à-dire une absence d'électron dans un atome, qui de ce fait est chargé positivement) il le comble.

L'énergie de cet électron passe donc de la bande de conduction à la bande de valence du matériau P, libérant par conséquent une énergie égale à la différence entre ces deux bandes (largeur de bande interdite ou band gap).

Une partie de cette énergie est libérée sous forme de lumière (photon) et le reste sous forme de chaleur.

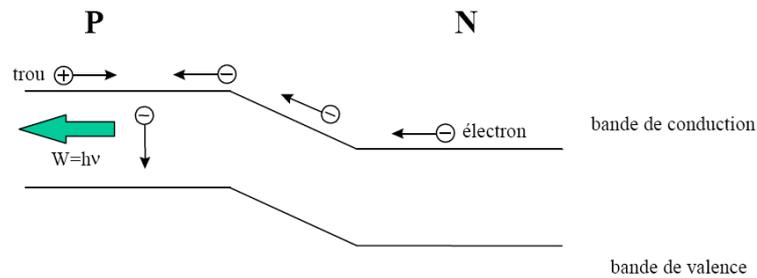


Fig. III.2 : Emission d'un photon lors de la recombinaison d'un électron et d'un trou

On voit donc que la fréquence de la radiation émise est directement liée à la largeur de la bande interdite (band gap).

L'énergie d'un photon s'écrit :

$$W = h\nu$$

h : constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Js)

ν : fréquence de la radiation émise (en Hz).

La longueur d'onde émise est donnée par la relation : λ (Å) = $12370/E_g$

λ : longueur d'onde de la radiation émise (en Angström)

E_g : largeur de la bande interdite (en eV).

La tension de seuil d'une diode étant elle aussi fonction de la largeur de bande interdite, il existe une relation directe entre la tension de seuil de la diode et la fréquence de la radiation émise. Plus une jonction possède une tension de seuil élevée, plus elle émet haut dans le spectre. De ce fait, les diodes germanium et silicium qui possèdent des tensions de seuil relativement faibles (environ 0,3V pour Ge et 0,7V pour Si) émettent dans l'infrarouge lointain.

La mise au point de diodes émettant dans le visible n'a donc pu s'effectuer qu'à partir d'un autre semi-conducteur : le gallium Ga

dont le "Gap" vaut 1,4 eV (1,09 eV pour le silicium ; 0,66 eV pour le Germanium).

A partir de différents composés à base d'AsGa ou de GaP, on sait aujourd'hui fabriquer des diodes électroluminescentes émettant dans l'infrarouge, le rouge, le jaune, le vert et le bleu.

III.2.2. Utilisation des diodes électroluminescentes

Les LED sont utilisées comme source lumineuse

→ Soit dans un but de visualisation (voyants ...)

→ Soit pour transmettre un signal (coupleurs optoélectroniques, capteurs ...).

Contrairement aux lampes à incandescence, une LED ne se pilote pas en tension mais en courant.

Dans le cas général, une LED doit être connectée à une source de tension par l'intermédiaire d'une résistance de limitation de courant.

III.2.3. Application : afficheur 7 segments

Un afficheur à LED 7 segments permet de visualiser les chiffres de 0 à 9, il y en a ! Entre 7 et 8 LEDs selon les modèles. Voici un schéma présente un modèle d'afficheur sans le point (qui au final est juste une LED supplémentaire) :

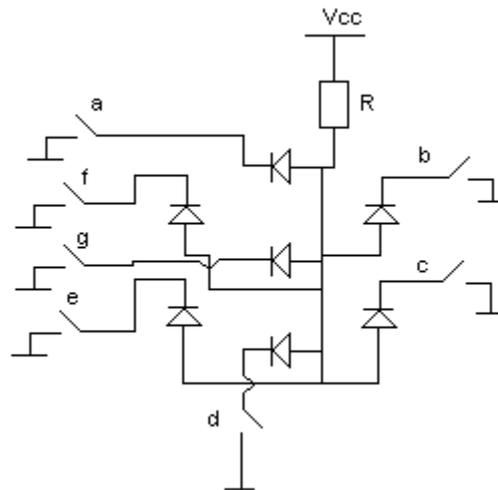


Fig. III.3 : Schéma de l’afficheur 7 segments

NB :Les interrupteurs a,b,c,d,e,f,g représentent les signaux pilotant chaque segments

Comme vous le voyez sur ce schéma, toutes les LED possèdent une broche commune, reliée entre elle. Selon que cette broche est la cathode ou l’anode on parlera d’afficheur à cathode commune ou... anode commune. Dans l’absolu, ils fonctionnent de la même façon, seule la manière de les brancher diffère (actif sur état bas ou sur état haut).

III.3. Les dispositifs photosensibles

Le fonctionnement des différents éléments photosensibles à semi-conducteur est basé sur le même principe physique. Lorsqu’un cristal semi-conducteur absorbe un photon d’énergie $W = h\nu$ supérieure à la largeur de sa bande interdite, il y a création d’une paire électron-trou ; un électron passant de la bande de valence à la bande de conduction laissant à sa place un trou.

III.3.1. Phototransistor

Un phototransistor est un composant électronique capable de réagir à la lumière en laissant passer plus ou moins le courant.

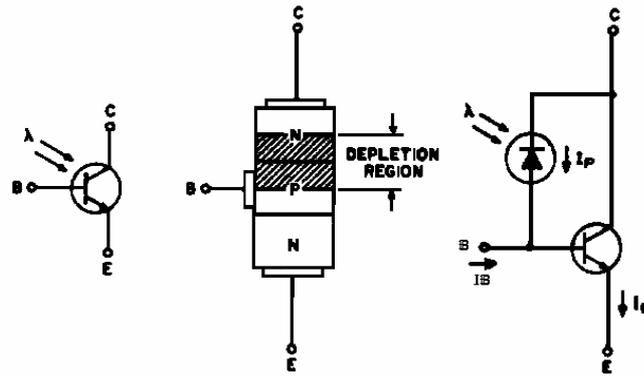


Fig. III.4 : Un phototransistor

Comme les transistors, le phototransistor est conçu d'une base, d'un émetteur et d'un collecteur. Cependant, la base est sensible à la lumière et contrôle donc le passage du courant dans le collecteur. Certains modèles de transistors peuvent d'ailleurs être limés jusqu'à faire apparaître leur base pour que la lumière agisse dessus.

Le phototransistor est beaucoup plus sensible qu'une photodiode. Un montage classique à base de phototransistor est le Darlington.

Un phototransistor contrôle un transistor classique, très efficace pour des barrières lumineuses ou des détections d'obstacles.

III.3.2. Fonctionnement

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux ; la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite I_{CE0} . L'éclairement de la base conduit à un photocourant I_{ph} que l'on peut nommer courant de commande du transistor.

Celui-ci apparaît dans la jonction collecteur-base sous la forme :

$$I_E = (I_{ph} + I_B)(B + 1)$$

Pour simplifier, lorsque la base est éclairée le phototransistor est équivalent à un interrupteur fermé entre l'émetteur et le collecteur et lorsque la base n'est pas éclairée, il est équivalent à un interrupteur ouvert.

Le courant d'éclairement du phototransistor est le photo-courant de la photodiode collecteur-base multiplié par l'amplification β du transistor. Sa réaction photosensible est donc nettement plus élevée que celle d'une photodiode (de 100 à 400 fois plus). Par contre le courant d'obscurité est plus important.

On observe une autre différence entre le phototransistor et la photodiode : la base du phototransistor est plus épaisse, ce qui entraîne une constante de temps plus importante et, donc une fréquence de coupure plus basse que celle des photodiodes. On peut éventuellement augmenter la fréquence de coupure en diminuant la photosensibilité en connectant la base à l'émetteur.

III.3.3. Applications

Les phototransistors peuvent être utilisés comme détecteurs de lumière ambiante. Lorsqu'ils sont utilisés avec une source lumineuse contrôlable, typiquement et LED, ils sont souvent utilisés comme élément de détection pour opto-isolateurs et commutateurs optiques transmissifs ou réfléchissants.

III.4. Photomultiplicateur

Le **photomultiplicateur** (PM) est un dispositif permettant la détection de photons. Il se présente sous la forme d'un tube électronique.

Sous l'action de la lumière, des électrons sont arrachés d'un métal par effet photoélectrique à une photocathode, le faible courant électrique ainsi généré est amplifié par une série de dynodes utilisant le phénomène d'émission secondaire pour obtenir un gain important.

Ce détecteur permet de compter les photons individuellement. Il est sensible de l'ultraviolet à l'infrarouge proche, le temps de réponse est de l'ordre de la nanoseconde (10^{-9} seconde).

III.4.1. Structure et principe de fonctionnement

Les principaux éléments d'un photomultiplicateur sont le tube à vide, la photocathode, les dynodes, et l'anode.

Les photons incidents traversent une photocathode, constituée d'une « fenêtre » de verre, sur l'intérieur de laquelle est apposée une fine couche de métal ou de semi-conducteur. Lorsqu'un photon atteint le semi-conducteur, il excite un électron de la bande de valence, qui est alors diffusé vers la surface du semi-conducteur du fait de la différence de potentiel avec l'extérieur. Si l'énergie de l'électron est supérieure au niveau énergétique du vide à l'intérieur du PM, alors il est éjecté du semi-conducteur, et appelé « photoélectron ». La

probabilité pour un photon incident de produire un photoélectron est définie comme l'efficacité quantique, et dépend entre autres des matériaux utilisés pour la fenêtre et le semi-conducteur, ainsi que de la longueur d'onde du photon incident.

Les photoélectrons quittent la photocathode avec une énergie correspondant à celle du photon incident (moins le travail de sortie de la photocathode), et sont ensuite focalisés par un jeu d'électrodes vers un électro-multiplicateur, constitué d'une série de dynodes dont le but est de transformer le photoélectron initial en un paquet d'électrons suffisant pour constituer un signal électrique mesurable. Chaque dynode étant maintenue à une valeur de potentiel plus importante que la précédente, la différence de potentiel entre la dynode et la dynode suivante accélère les électrons ainsi émis, qui acquièrent suffisamment d'énergie pour générer un certain nombre d'électrons secondaires sur la dynode suivante. Il se produit donc, de dynode en dynode, un effet d'avalanche. La position et la forme des dynodes sont optimisées de sorte que le temps de transit des électrons soit minimisé, l'efficacité de collection de chaque dynode maximisée, et d'éviter que d'éventuels ions ou photons puissent être captés par les dynodes, ce qui créerait du bruit instrumental. Une anode collecte les électrons secondaires émis par la dernière dynode (techniquement, l'anode est la dernière dynode, mais en pratique on appelle souvent « dernière dynode » la dynode précédente), à partir desquels elle

génère un courant électrique, recueilli en sortie du photomultiplicateur.

Finalement, l'arrivée du photon sur la cathode se traduit par une impulsion de charge suffisamment importante pour être utilisée par un dispositif annexe, souvent composé d'un amplificateur et d'un discriminateur.

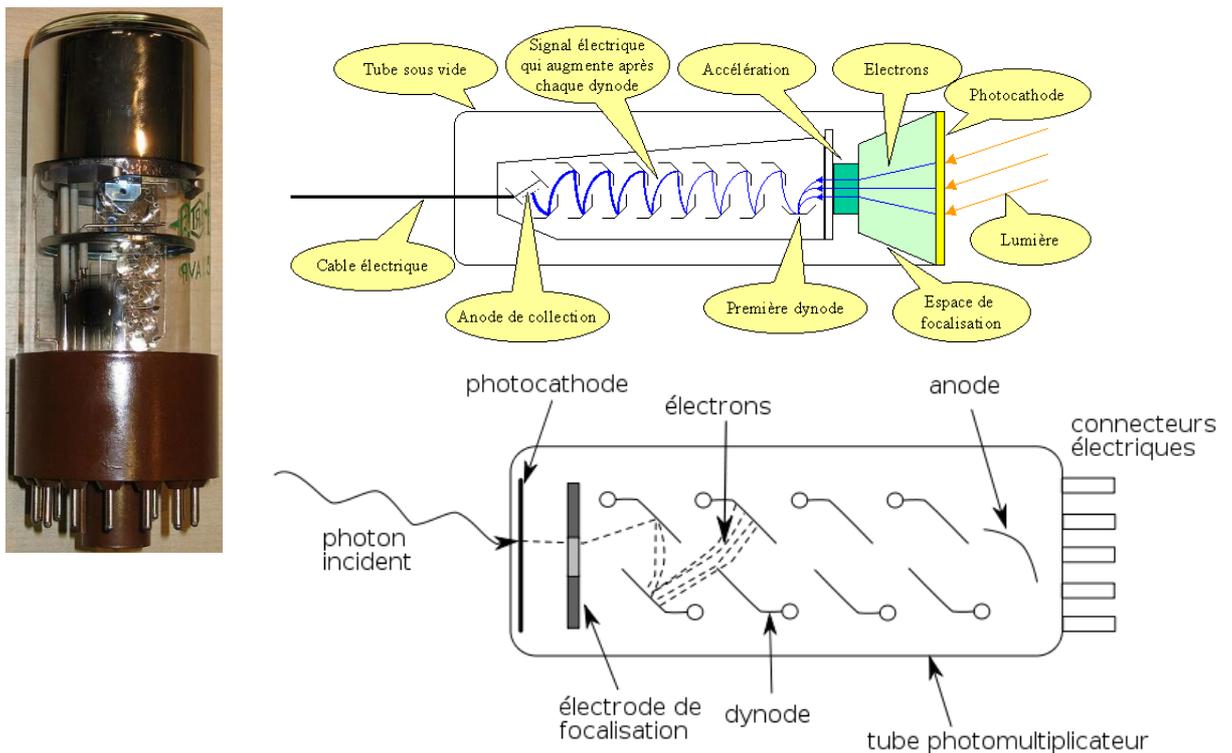


Fig. III.5 : Un photomultiplicateur

III.4.2. Photo coupleur

Les **photo-coupleurs**, ou coupleurs **optoélectroniques**, sont des composants électroniques capables de transmettre un signal d'un circuit électrique à un autre, sans qu'il y ait de contact galvanique entre eux.

III.4.3. Composition

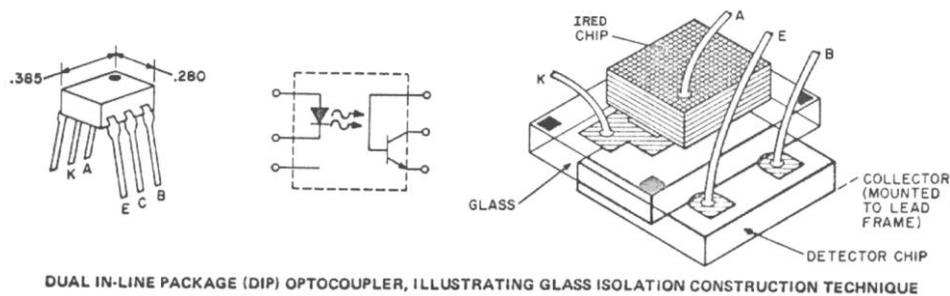


Fig. III.6 : Un Photo coupleur

Les photo-coupleurs intègrent dans le même boîtier une diode émettrice infrarouge et un photo-détecteur (phototransistor par exemple). Ces deux éléments sont couplés optiquement mais sont électriquement isolés (figure ci-dessus).

L'utilisation d'un opto-coupleur permet donc la transmission unilatérale d'un signal entre deux circuits qui n'ont aucun point commun électrique (on dit que ces deux circuits sont galvaniquement isolés). Le degré d'isolement entre les deux circuits dépend de la qualité et de l'épaisseur du diélectrique séparant la diode émettrice du photo-détecteur.

La construction du photo coupleur résulte donc d'un compromis entre l'isolement et "l'efficacité" du dispositif que l'on quantifie par le CTR (current transfert ratio) défini ainsi :

$$CTR(\%) = 100 \frac{I_{\text{photodétecteur}}}{I_{\text{diodeémettrice}}}$$

Dans le cas d'un photo coupleur utilisant un transistor comme détecteur, le CTR est le rapport du courant collecteur au courant dans la diode.

IV.1. Introduction

Un circuit logique se présente sous forme d'un circuit intégré qui permet de regrouper dans un même boîtier un maximum de composants électroniques dont le plus important est le transistor. Les circuits intégrés logiques sont classés suivant leur technologie de fabrication en plusieurs familles logiques. Chaque famille logique a pour point commun la technologie employée. Dans ce chapitre, on étudiera les familles les plus populaires actuellement, à savoir : → La famille TTL (Transistor Transistor Logic) : Utilise une technologie à base de transistors bipolaires. Chaque famille logique est caractérisée par des paramètres électriques comme l'alimentation et la consommation, et des performances dynamiques comme le temps de propagation.

IV.2. Caractéristique

Les premiers circuits intégrés sont sortis sur le marché dans les années 70 en technologie DTL et TTL. Cette technique avait quelques inconvénients comme nous allons le voir et les constructeurs se sont évertués à nous offrir des circuits plus rapides, plus économes, plus fiables.

La technologie TTL est normalisée pour une tension d'alimentation de 5 V. Un signal TTL est défini comme niveau logique bas entre 0 et 1,4 V, et comme niveau logique haut entre 2,4 V et 5 V (ces niveaux varient légèrement entre les différentes séries).

↳ **Avantages**

Cette famille de composants allie une bonne vitesse de commutation à un faible temps de transfert.

L'immunité aux parasites est bonne à condition de découpler l'alimentation au plus près de chaque circuit par un condensateur de filtrage.

Les entrées en l'air, sans état fixé, sont à l'état logique « 1 » par défaut (elles ne débitent un courant important que si on les met à zéro et elles sont presque équivalentes à des résistances vers $V_{cc}=5\text{ V}$).

↳ **Inconvénients**

L'alimentation des circuits TTL doit être précise : $+5\text{ V} \pm 5\%$, en comparaison aux circuits CMOS qui ont, eux, une plage de tension d'alimentation bien plus vaste (de $+3$ à $+18\text{ V}$). En cas de non-respect de cet impératif, on risque, au mieux, un fonctionnement erratique du circuit, et au pire, une destruction partielle ou complète du circuit.

La technique bipolaire est grande consommatrice de courant électrique ; Les mémoires en TTL sont certes rapides, mais ne peuvent guère être secourues bien longtemps en cas de coupure d'alimentation.

On ne peut transmettre les signaux émis par les circuits TTL sans circuits de transmission additionnels sur de grandes distances sans pertes : longueur maximum environ 15 m.

IV.2.1. La famille TTL

Avant de commencer, voyons le marquage des composants :

SN	74	HCT	00	N
Identification constructeur	54 : militaire gamme de température : -55°C 125 °C 74 : civil gamme de température : -40°C 85 °C	Famille technologique (S , LS ,ALS ,HC ,HCT , etc...	Fonction réalisée par le circuit. (NAND , OR , Multiplexage etc)	Type de boitier (DIL etc)

Les circuits de technologie TTL sont généralement préfixés par le chiffre 74 (54 sur les séries militaires et industrielles). Ce chiffre est suivi d'une ou plusieurs lettres représentant la famille (absence de lettre pour la famille standard), puis un code à 2, 3 voire 4 chiffres représentant le modèle du circuit (la fonction réalisée).

Les diverses familles sont les suivantes :

IV.2.2.TTL : Série standard

Cette famille utilise des transistors bipolaires et son nom vient de "Transistor Transistor Logic". Dans cette famille technologique, les transistors travaillent en saturation blocage. L'inconvénient majeur est que cela influe sur la rapidité de commutation et limite la fréquence d'utilisation, de plus la consommation est importante.

Tension alimentation : +5V/-5%

Temps de propagation : 10 ns

Consommation : 10mW

Tension alimentation : +5V/-5%

Temps de propagation : 30 ns

Consommation : 1mW

Fréquence max : 5MHz

Tension de sortie niveau haut minimum ; $V_{oh\ min}=2,4V$

$V_{ih\ min}$ = Valeur du niveau haut minimum en entrée : 2V

$V_{ol\ max}$ = tension de sortie niveau bas maximum à 8 mA : 0,3V

$V_{il\ max}$ = Valeur maximum du niveau bas en entrée : 0,8V

IV.2.4. TTLS (shottky) : série rapide (utilisation de diodes Schottky)

Les transistors travaillent en saturation-blocage. Les bases des transistors accumulent des charges, lors de la saturation, qu'il faut évacuer avant de changer d'état. La solution trouvée consiste à intercaler en base et collecteur une diode Schottky qui limitera cette accumulation ce qui naturellement améliorera le temps de commutation. L'inconvénient de cette technologie est toujours une forte consommation de courant.

Tension alimentation : +5V/-5%

Temps de propagation : 3 ns

Consommation : 20mW

Fréquence max : 75MHz

Tension de sortie niveau haut minimum ; $V_{oh\ min}=2,7V$

$V_{ih\ min}$ = Valeur du niveau haut minimum en entrée: 2V

$V_{ol\ max}$ = tension de sortie niveau bas maximum à 8 mA : 0,5V

Vil max = Valeur maximum du niveau bas en entrée : 0,8V

IV.2.5. TTLs (low power shottky) : combinaison des technologies L et S, c'est la famille la plus répandue

Cette technologie utilise des techniques du TTL L pour réduire la consommation et du TTL S pour la rapidité de commutation, car la consommation est prohibitive dès lors que le nombre de circuits intégrés augmente.

Tension alimentation : +5V/-5%

Temps de propagation : 9 ns

Consommation : 2 mW

Fréquence max : 30MHz

Tension de sortie niveau haut minimum ; $V_{oh\ min}=2,7V$

$V_{ih\ min}$ = Valeur du niveau haut minimum en entrée: 2V

$V_{ol\ max}$ = tension de sortie niveau bas maximum à 8 mA : 0,5V

Vil max = Valeur maximum du niveau bas en entrée : 0,8V

IV.2.6. TTLF (FAST: Fairchild Advanced Schottky Technology)

Le marché a besoin de circuits de plus en plus rapide, la réponse est apportée par la technologie F (fast)

Tension alimentation : +5V/-5%

Temps de propagation : 6 ns

Consommation : 5 mW

Fréquence max : 100MHz

Tension de sortie niveau haut minimum ; $V_{oh\ min}=2,7V$

$V_{ih\ min}$ = Valeur du niveau haut minimum en entrée: 2V

Vol max = tension de sortie niveau bas maximum à 8 mA : 0,5V

Vil max = Valeur maximum du niveau bas en entrée : 0,8V

IV.3. Evolutions

Afin de combiner les avantages des techniques bipolaires (vitesse) et CMOS (faible consommation, large plage de tension) les ingénieurs se sont attachés à concevoir d'autres types de circuit logique reprenant les fonctions des séries TTL classiques.

Dans l'ordre chronologique :

Pseudo TTL 74HCxx ($V_{cc} = 2V \Leftrightarrow 6 V$, Temps de propagation = 80ns).

Pseudo TTL 74HCTxx ($V_{cc} = 3 V \Leftrightarrow 18 V$, Temps de propagation = 20ns).

IV.3.1. Exemple : circuit 7400

Le circuit 7400 est un quadruple « NONET » (NAND).

On alimente le circuit de la manière suivante : V_{cc} sur la broche 14 (+5 V) et la masse sur la broche 7.

On peut utiliser chacune des quatre portes de la manière suivante :

Porte NAND1, entrées A et B sur les broches 1 et 2, sortie sur la broche 3.

Porte NAND2, entrées A et B sur les broches 4 et 5, sortie sur la broche 6.

Porte NAND3, entrées A et B sur les broches 9 et 10, sortie sur la broche 8.

Porte NAND4, entrées A et B sur les broches 12 et 13, sortie sur la broche 11.

Bien sûr les portes sont indépendantes les unes des autres, si certaines des portes ne sont pas utilisées, on peut relier leurs entrées A et B au +Vcc (ou à la masse) et laisser la sortie « en l'air ».

NB: les entrées A et B sont interchangeables l'une avec l'autre.

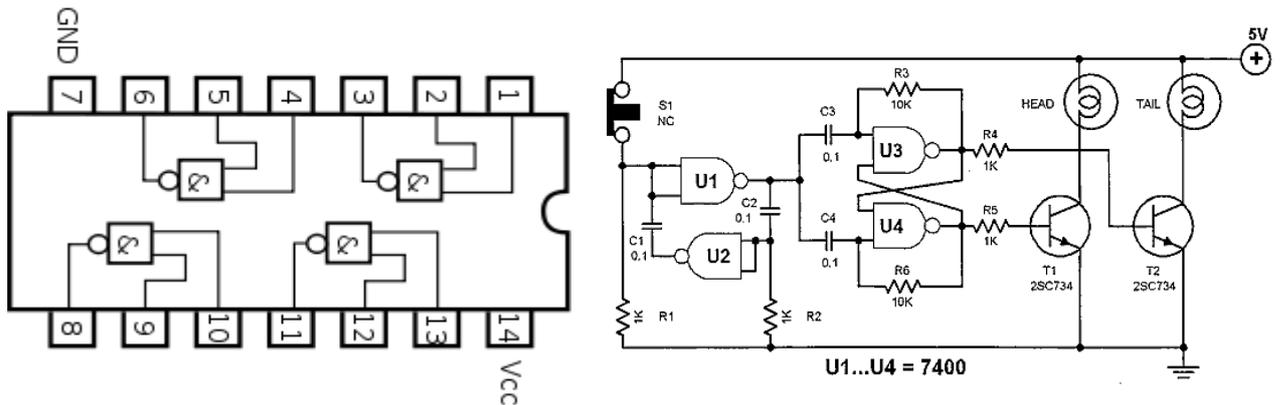


Fig. IV.2 : Le circuit 7400

V.1. Introduction

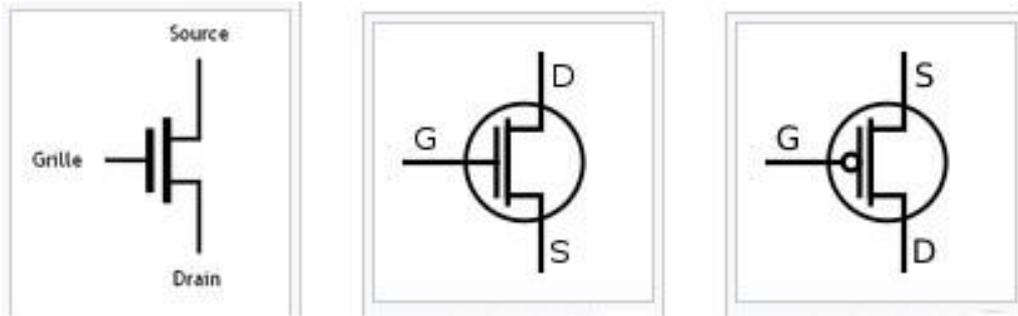
La première famille CMOS apparue sur le marché était la série 4000. Elle se caractérisait par une consommation incroyablement faible comparativement au TTL, la tension d'alimentation comprise entre 3 et 18V laissait une incomparable liberté au concepteur mais grave inconvénient, elle était lente et incompatible avec les TTL.

Si une entrée "en l'air" d'un circuit TTL se positionne au niveau haut automatiquement, il est impératif en technologie CMOS de relier les entrées inutilisées au potentiel d'inactivation. Comme les impédances de ces portes sont très élevées, n'importe quel signal s'y développe et peut provoquer un fonctionnement erratique.

V.2. Portes logiques P-MOS et N-MOS

Les logiques MOS (Metal Oxyde Silicium) utilisent des transistors à effet de champ, parfois couplés à des résistances. On distingue :

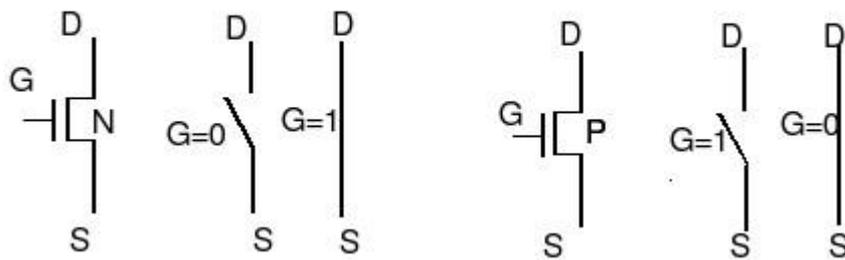
- La **logique NMOS**, qui utilise des transistors NMOS associés à des résistances.
- La **logique PMOS**, qui utilise des transistors PMOS associés à des résistances.
- La **logique CMOS**, qui utilise des transistors PMOS et NMOS, sans résistances associées.



Transistor CMOS

Transistor MOS à canal N (NMOS)

Transistor MOS à canal P (PMOS)



Transistor MOS à canal N (NMOS)

Transistor MOS à canal P (PMOS)

Fig. V.1 : Transistors MOS

V.2.1. Exemple d'application

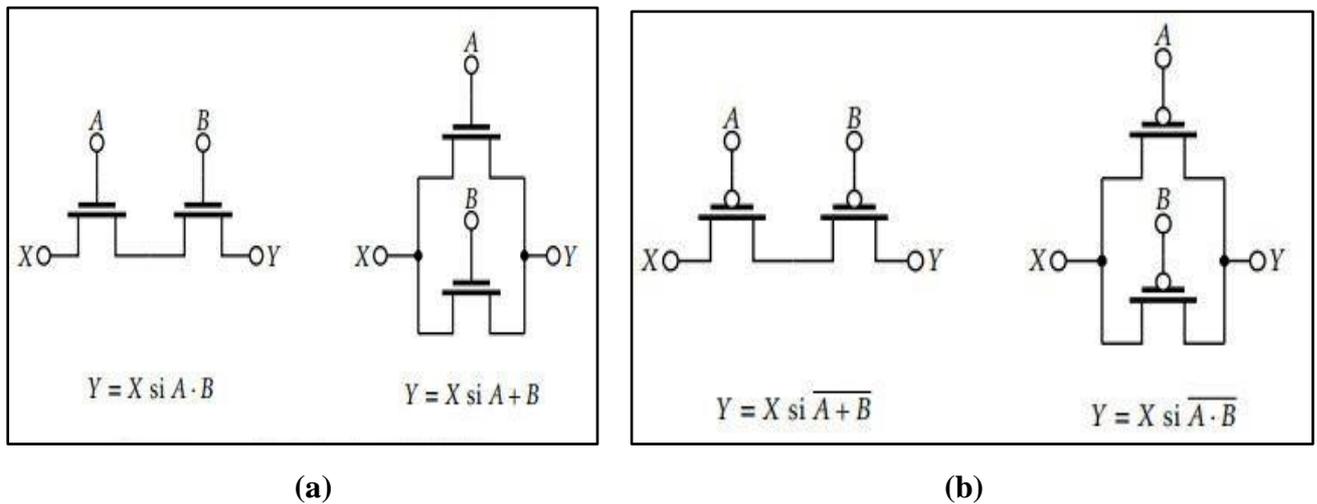


Fig. V.2. (a) : Porte logique (NMOS), (b) Porte logique (NMOS)

V.3. Logique MOS complémentaire

Le C de CMOS signifie complémentaire. Au lieu de mettre une branche active et une branche passive, on met deux branches actives qui ont un comportement opposé. Par exemple, l'inverseur devient :

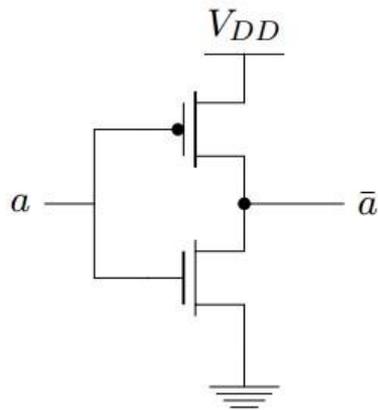


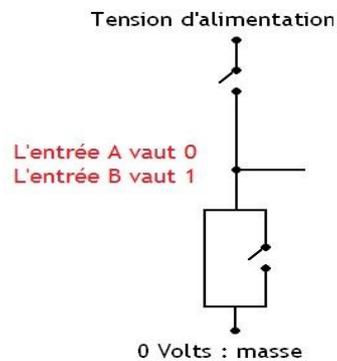
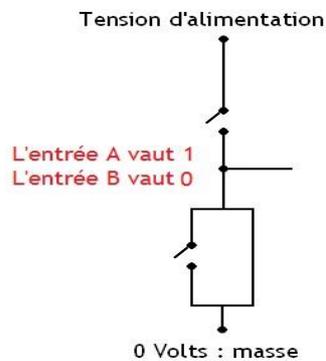
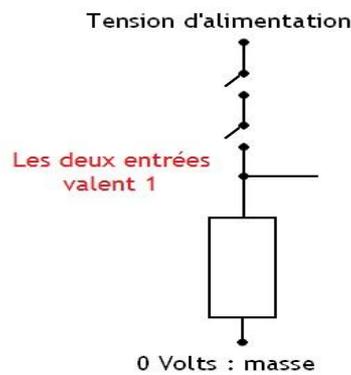
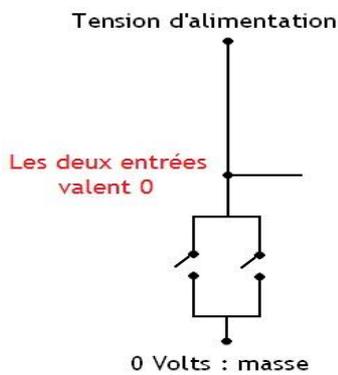
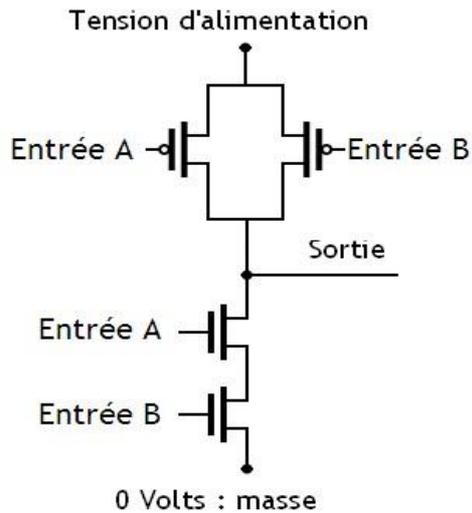
Fig. V.3. : Schéma d'une porte NOT en logique CMOS

$a=0$, on a NMOS bloqué et PMOS est actif (passant) → la sortie est à l'état haut (« 1 »).

$a=1$, on a NMOS passant et PMOS est bloqué → la sortie est à l'état haut (« 0 »).

Si on prend une porte NOT à NMOS seulement fait un bon « 0 » mais un mauvais « 1 » en sortie et l'inverse pour le PMOS (fait un bon « 1 » mais un mauvais « 0 » en sortie).

V.3.1. Exemple d'application : Voici en exclusivité comment créer une porte NAND à deux entrées avec des transistors CMOS.



V.4.Familles CMOS

La première apparue suivie par la série B comme bufférisée. On change complètement de technologie puisque l'on passe des bipolaires au CMOS.

- Tension alimentation : 3 à 15V
- Temps de propagation : 40 ns
- Consommation : 0.1 mW
- Fréquence max : 12 MHz
- $V_{oh\ min}=4.9\ V$
- $V_{ih\ min}: 2V$
- $V_{ol\ max} : 0,1V$
- $V_{il\ max}: 0,8V$

V.4.1. Séries HC et HCT

La série 74HC s'alimente entre 2 et 6V ce qui la rend compatible avec les TTL pour l'alimentation tout en conservant les qualités des MOS en regard de la consommation, de plus ce sont des séries rapides avec des temps de transit très faibles.

La série HCT a été développée plus particulièrement pour la compatibilité avec les TTL surtout pour ce qui concerne les seuils d'entrée.

- Toute la série T est compatible TTL
- Tension alimentation : $5V\ +/-10\%$
- Temps de propagation : 14/15 ns
- Consommation : 0.1 mW
- Fréquence max : 50 MHz
- $V_{oh\ min}=4.9\ V$
- $V_{ih\ min}: 3.5V$

→ Vol max: 0,1V

→ Vil max: 0,8V

V.4.2. Séries A C et ACT

AC pour "advanced CMOS" Le T indique la compatibilité avec le TTL

→ Tension alimentation : 2-6 pour AC et 6 pour ACT

→ Temps de propagation : 5 ns

→ Consommation : 0.1 mW

→ Fréquence max : 70 MHz

→ Voh min=4.76 V

→ Vih min: 2V

→ Vol max: 0,44V

→ Vil max : 0,8V

V.4.3. Séries LV, LVC, LVT, ALVC

LV pour "Low Voltage". Ces circuits s'alimentent avec une tension de 3,3V, cette technologie est apparue en 1993 et est compatible TTL pour les LVT.

→ Les AVC travaillent sous 1,8V

→ Tension alimentation : 3.3 V

→ Temps de propagation : 2.5 ns

→ Consommation : 0.1 mW

→ Fréquence max : 150 MHz

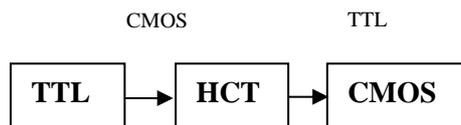
→ Voh min=2.2 V

- $V_{ih \text{ min}}$: 2V
- $V_{ol \text{ max}}$: 0,55V
- $V_{il \text{ max}}$: 0,8V

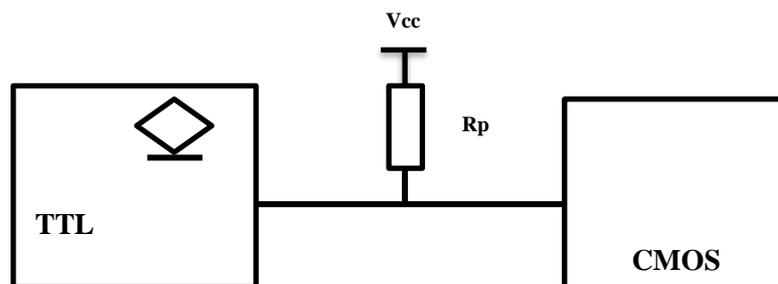
V.5. Interfaçage TTL-CMOS

Il faut faire attention lors du raccordement des différentes familles car les niveaux de tensions et de courants ne sont pas les mêmes (non compatibilités). Il est capital de consulter les fiches techniques des composants pour connaître les paramètres de tensions et de courants des sorties et des entrées, pour pouvoir concevoir un circuit d'interface pour satisfaire les besoins en courant et en tension des circuits pilotés. Et généralement la famille TTL peut être piloté par les nouvelles séries CMOS ($V_{DD}=V_{CC}=5V$). Et pour que la TTL pilote un CMOS ($V_{DD}=V_{CC}=5V$) soit :

- On intercale simplement une porte de la famille HCT.



- Soit : On utilise une sortie à collecteur ouvert :



R_p est une résistance de rappel. Une valeur trop grande de R_p diminuera la fréquence maximale d'utilisation et une valeur trop petite augmentera la puissance dissipée.

V.6. Précautions d'utilisation des circuits CMOS

Toute tension d'entrée d'un circuit CMOS doit être comprise entre 0V et l'alimentation. Si la tension d'entrée devient inférieure à - 0.5V ou supérieure à l'alimentation, il y a risque de détérioration du circuit. Les entrées d'un circuit CMOS sont sensibles à l'électricité statique (charges électriques) et doivent être manipulés avec les précautions d'usage :

- Conditionnement en barrette ou sachet antistatique.
- Manipulation avec un bracelet antistatique relié à la terre.

VI.1. Introduction

Un Circuit Intégré **CI** désigne un bloc constitué par un monocristal de silicium (*Puce*) à l'intérieur duquel se trouve inscrit en nombre variable des composants électroniques élémentaires (Transistors, diodes, résistances, condensateurs, ...).

VI.2. Classement

Les circuits intégrés sont classés selon leurs caractéristiques et leur domaine d'emploi comme :

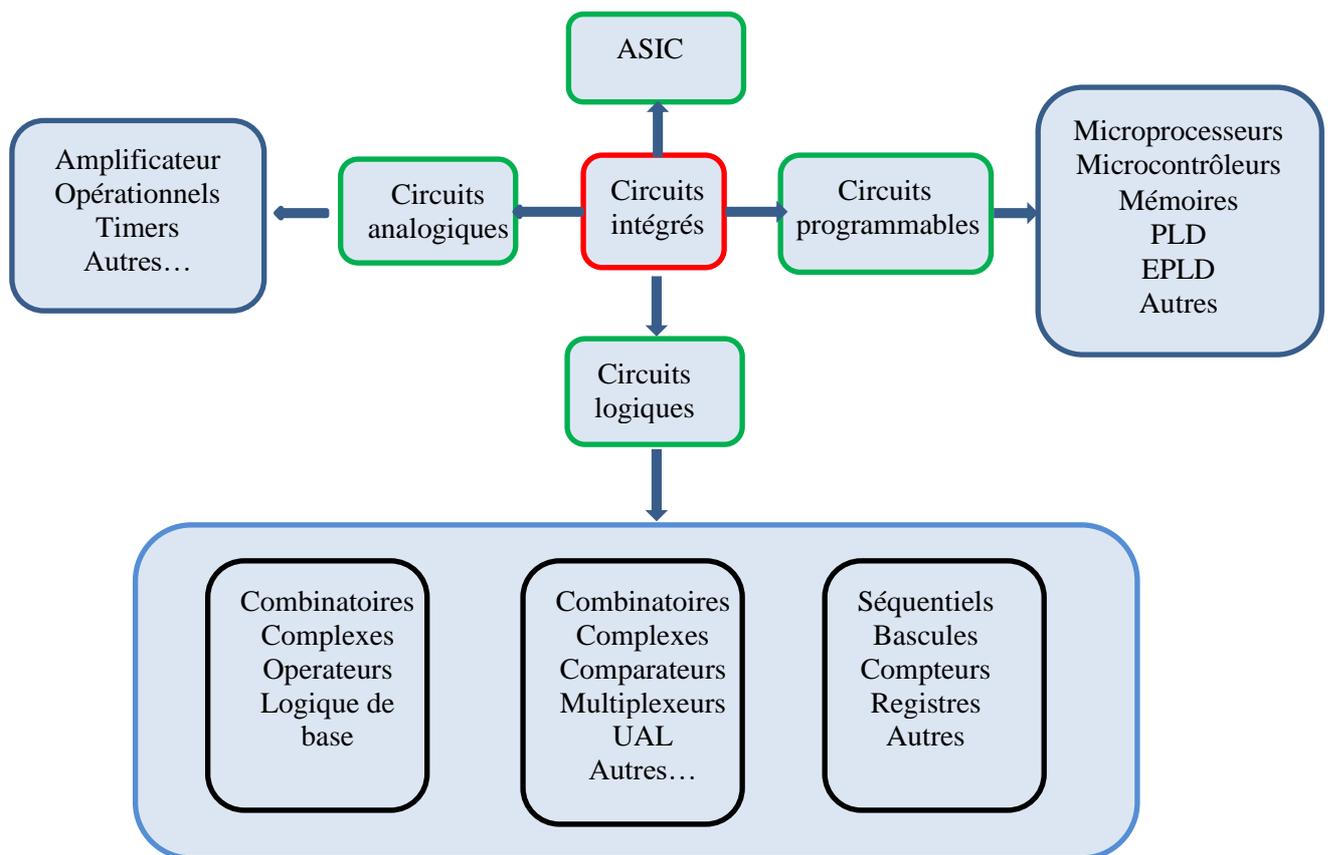


Fig VI.1: Différents circuits intégrés

- **ASIC:** Ce sont des circuits intégrés fabriqués à la demande. Ils peuvent intégrer des structures analogiques et logiques.
- **Circuits analogiques :** Ce sont des circuits intégrés qui mettent en forme des informations analogiques.
- **Circuits programmables :** Ils nécessitent des informations virtuelles (un programme)
- **Circuits logiques :** Regroupent les structures logiques intégrées non programmées.

VI.3. Electronique analogique

L'électronique analogique est la plus ancienne. Elle traite de systèmes électroniques sur des grandeurs (tension, courant, charge) à **variation continue** dans des limites fixées. On utilise le terme analogique car les grandeurs **électriques** utilisées sont à l'image du signal à traiter (analogues). Le terme est souvent associé à un contexte électrique mais d'autres systèmes tels que la mécanique, la pneumatique ou l'hydraulique peuvent employer des signaux analogiques.

VI.4. Electronique numérique

Il s'agit d'un domaine scientifique s'intéressant aux systèmes dont les états parcourent un ensemble fini de possibilités. Contrairement à l'analogique, les variations du système se font par palier et niveaux prédéfinis. Grâce à la prédétermination des états électriques, on dispose de systèmes qui se comportent de manière

parfaitement **stable**, permettant de s'affranchir de bon nombre de parasites se superposant à tout courant électrique et électronique.

Sa principale application est dans la création des **ordinateurs**. Cependant, les évolutions technologiques actuelles permettent de créer des composants d'une plus grande complexité grâce aux circuits logiques programmables.

VI.5. Notion de famille de circuit logique

Un circuit logique se présente sous forme d'un circuit intégré qui permet de regrouper dans un même boîtier un maximum de composants électroniques dont le plus important est le Transistor. Les circuits intégrés logiques sont classés suivant leur technologie de fabrication en plusieurs familles logiques. Chaque famille logique a pour point commun la technologie employée. Pour les familles les plus populaires actuellement, on trouve:

- ↳ La famille TTL (Transistor Transistor Logic) : Utilise une technologie à base de transistors bipolaires.
- ↳ La famille CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) : Utilise une technologie à base de transistors MOS.

Chaque famille logique est caractérisée par des paramètres électriques comme l'alimentation et la consommation, et des performances dynamiques comme le temps de propagation.

VI.5.1. Notions de niveaux logiques

Pour une famille donnée, les niveaux logiques « 0 » et « 1 » ne correspondent pas à une tension précise, mais à une certaine « plage » de tension.

⇒ On appellera pour les valeurs de tension en **entrée** (Input):

- V_{IHmin} : Tension minimale en entrée qui assure le niveau logique haut.
- V_{ILmax} : Tension maximale en entrée qui assure le niveau logique bas.

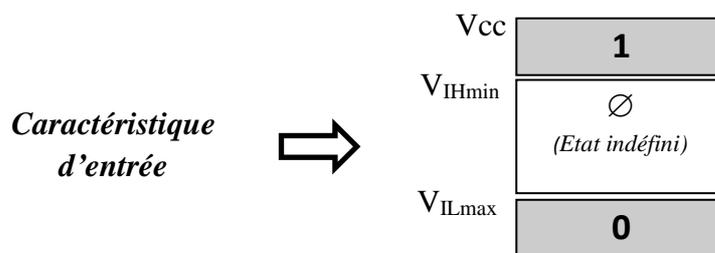


Fig VI.2: Caractéristiques d'entrée

⇒ On appellera pour les valeurs de tension en **sortie** (Output):

- V_{OHmin} : Tension minimale de sortie à l'état logique haut.
- V_{OLmax} : Tension maximale de sortie à l'état logique bas.

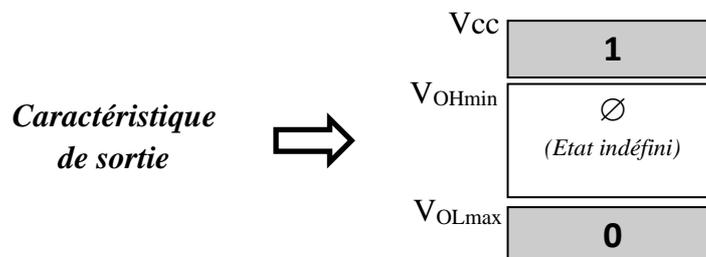


Fig VI.3: Caractéristiques de sortie

VI.5.2. Compatibilité des niveaux logiques

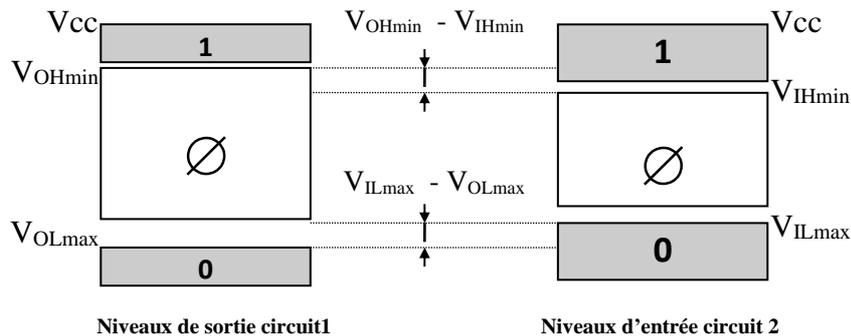


Fig VI.4: Compatibilité

- **Compatibilité au niveau haut** : Il faut que $V_{OHmin} > V_{IHmin}$
- **Compatibilité au niveau bas** : Il faut que $V_{ILmax} > V_{OLmax}$

VI.6. Familles technologiques

Les circuits logiques intégrés sont divisés en deux technologies :

⇒ Technologie TTL : Transistor-Transistor-Logic

Ces CIs sont réalisés à partir de transistors bipolaires NPN ou PNP. Il existe 7 familles logiques en technologie TTL :

→ **TTL Standard : 7xx**

Famille logique qui n'est plus couramment utilisée maintenant.

→ **TTL Low Power : 74Lxx**

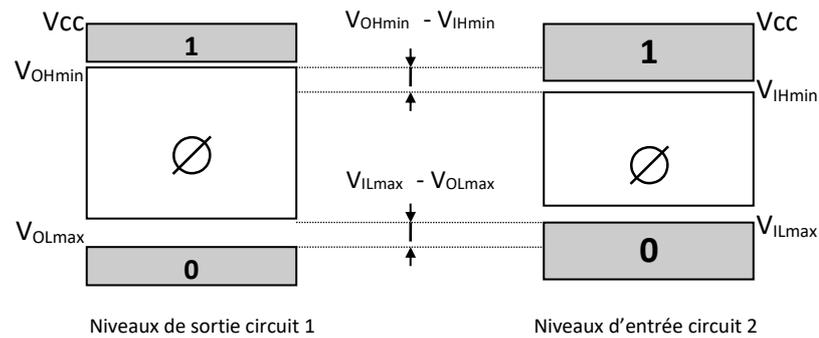
Circuits logiques TTL à faible consommation de courant.

→ **TTL Schottky : 74Sxx**

Circuits logiques rapide à base de diodes Schottky.

→ **TTL Fast : 74Fxx**

Circuit logique à temps de propagation très faible, augmentant donc la rapidité.



→ **TTL Low Power Schottky : 74LSxx**

Circuit TTL associant l'avantage des circuits 74Lxx et des 74Sxx, c'est à dire rapide et à faible consommation de courant.

→ **TTL Advanced Schottky : 74ASxx**

Circuits logiques très rapides, pouvant travailler à de grandes fréquences d'horloges.

→ **TTL Advanced Low Power Schottky : 74ALSxx**

Ces circuits associent les avantages des 74ASxx et 74Lxx : faible consommation et très rapides. Ils sont les plus utilisés.

⇒ Technologie CMOS : Complementary Metal Oxyde Semiconducteur

Ces circuits sont réalisés à partir de transistors MOSFET. Il existe 3 familles logiques qui sont :

☞ CMOS classique : **Série 4000**

☞ CMOS classiques : **74Cxx**

Cette famille logique est équivalente broche pour broche et fonction pour fonction à la famille logique 74xx. Ces circuits sont 50% plus rapides que la série 4000 et accepte 50% de courant en plus.

Cette famille logique possède des niveaux compatibles avec la logique TTL.

☞ CMOS Rapides : **74HCxx et 74HCTxx**

La famille 74HCT est entièrement compatible avec les circuits TTL. Ces deux familles logiques ont également l'avantage d'être rapides.

VI.7. Principaux paramètres des familles logiques

Pour une application donnée, le choix de la famille et de la technologie dépend des caractéristiques suivantes :

- Alimentation
- Marge de bruit,
- Délai de propagation,
- Dissipation de puissance,
- Sortance

VI. 7.1. Alimentation

L'alimentation des circuits logiques est toujours positive, et varie suivant la famille logique utilisée :

☞ 74, 74 L, 74 S, 74 F, 74 LS → $5V \pm 5\%$

☞ 74 ALS, 74 AS, 74 HCT → $5V \pm 10\%$

☞ 74 HC → 2V à 6V

☞ 74 C et série 4000 → 3V à 15V

VI.7.2. Marge de bruit

L'immunité aux bruits d'un circuit logique définit l'aptitude du circuit à tolérer des tensions parasites sur ses entrées.

Définition du bruit : tensions parasites introduites dans les fils de logiques par des champs électriques et magnétiques, on définit donc :

☞ Marge de bruit état HAUT :

$$M_H = V_{OH}(\min) - V_{IH}(\min)$$

☞ Marge de bruit état BAS :

$$M_B = V_{IL}(\max) - V_{OL}(\max)$$

VI.7.3. Délai de propagation

Le temps de propagation représente le temps que met le signal à franchir l'opérateur logique

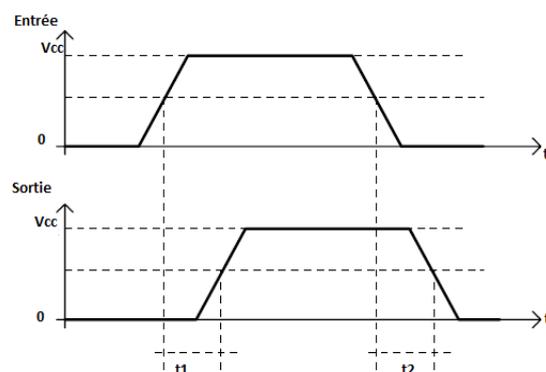


Fig VI.5: Délai de propagation

Le temps de propagation est défini par :

$$t_p = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Avec t_1 : temps de montée du signal (T_{PLH})

t_2 : temps de descente du signal (T_{PHL})

Ce temps ainsi que la fréquence maximale d'horloge permettent de juger de la rapidité des circuits logiques. Ainsi, les circuits TTL LS sont beaucoup plus rapides que les circuits CMOS série 4000.

VI.7.4. Sortance

Un circuit logique intégré doit être capable de fournir un courant maximal sans dégradation des niveaux de tensions à l'état 0 et 1, pour pouvoir commander le plus grand nombre possible des circuits, connectés sur la sortie. C'est ce que l'on appelle la Sortance. Cela correspond au nombre de charges élémentaires ou de portes logiques qu'une sortie peut commander.

A noter que dans le cas CMOS, le fonctionnement doit se faire en basse fréquence, soit $F < 1$ MHz. Si cette fréquence augmente, la sortance doit diminuer, car sinon, c'est le retard de propagation qui diminuera.

VI.7.5. Dissipation de puissance ou consommation

La puissance dissipée par un circuit intégré est généralement spécifiée par le courant I_{CC} , tiré de l'alimentation V_{CC} (pour les TTL) et V_{DD} (pour les CMOS). Donc, la puissance réelle est :

$$P = I_{CC} \times V_{CC}$$

Dans le cas de nombreux circuits, I_{CC} varie en fonction des états logiques. On a donc I_{CCH} et I_{CCL} . On obtiendra donc, le courant moyen de la façon suivante :

$$I_{CC}(moy) = \frac{I_{CCH} + I_{CCL}}{2}$$

$$P(moy) = I_{CC}(moy) \times V_{CC}$$

L'équation précédente représente donc, la puissance dissipée moyenne pour tout le circuit intégré. Si on désire connaître la puissance dissipée par une seule porte, on doit diviser $I_{CC}(moy)$ par le nombre de portes présentes à l'intérieur du circuit (comme exemple).

VI.7.6. Comparaison technologie TTL et CMOS

	TTL	CMOS
+	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Très large gamme de fonctions ☞ Bonne immunité aux bruits ☞ Bonne sortance ☞ Temps de propagation faible 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Tension d'alimentation variable ☞ Excellente immunité aux bruits ☞ Consommation statique quasi-nulle* ☞ Densité d'intégration élevée
-	<ul style="list-style-type: none"> ⚡ Consommation statique importante ⚡ Densité d'intégration réduite 	<ul style="list-style-type: none"> ⚡ Sortance faible (étages amplificateurs nécessaires : sortance élevée avec ACT, FACT) ⚡ Temps de propagation important

Fig VI.6: Comparaison technologie TTL et CMOS

*En statique, la consommation de la famille CMOS est quasi-nulle. En haute fréquence (> 1 MHz), elle rattrape la consommation de la famille TTL

TTL est l'abréviation de "Transistor-Transistor Logic". Elle a été inventée en 1960. Cette famille est réalisée avec des transistors bipolaires. (De nos jours, la technologie TTL tend à être remplacée par la technologie CMOS).

VI.8. Différents types de sorties

VI.8.1. Sortie de type "collecteur ouvert "

↗ symbole



↗ Exemple porte NON ET à sortie à collecteur ouvert

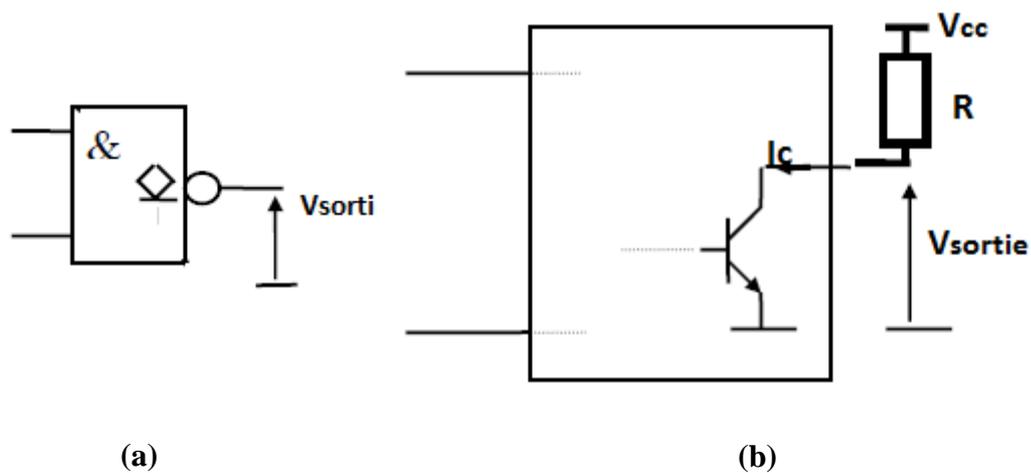


Fig VI.7: Porte NON ET à sortie à collecteur ouvert ; (a) symbole, (b) structure

La sortie du circuit est dite « Sortie à Collecteur Ouvert », elle est composée d'un transistor donc la borne du collecteur est en « l'air » c'est-à-dire reliée à rien du tout. Il faut prévoir des composants externes permettant de polariser le transistor. Dans l'exemple il faut rajouter la résistance R permettant de faire circuler un courant I_c lorsque le transistor est saturé.

On trouve toute sorte de circuit à collecteur ouvert (Circuits logiques, ALI, drivers, ...).

VI.8.2. Sortie de type « 3 états »

Pour isoler totalement un circuit d'un ensemble d'autres circuits dont les sorties sont connectées ensemble et éviter ainsi des courts-circuits entre des données incompatibles (un 1 et un 0), on dote les sorties de certains circuits logiques de « **sorties 3 états** ». Elles sont appelées ainsi parce qu'elles peuvent fournir 3 états :

- Un état haut (donnée = 1),
- Un état bas (donnée = 0),
- Un état « **haute impédance** », isolant pratiquement le circuit de l'extérieur.

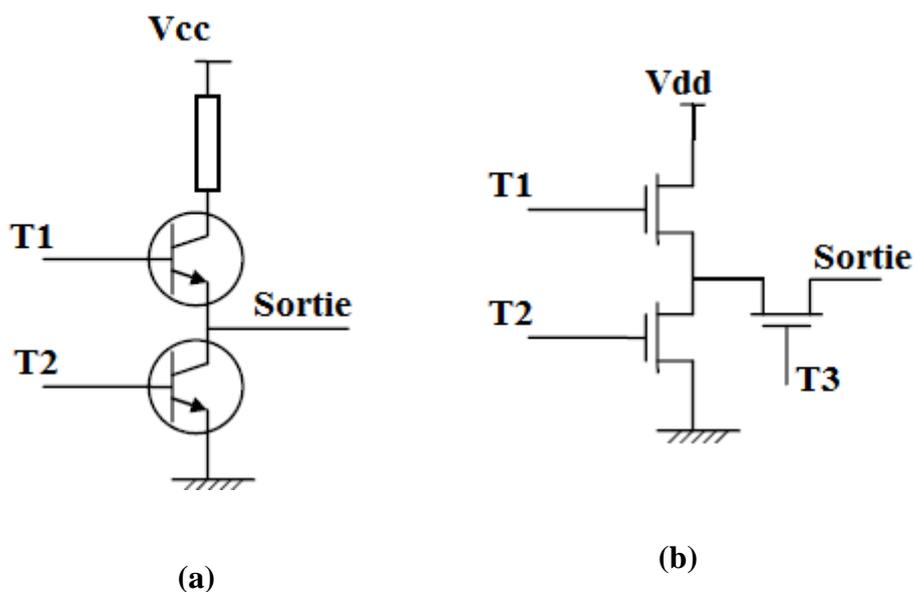


Fig VI.8 : (a) En **technologie TTL**, on obtient ce résultat en organisant la sortie de la porte entre deux transistors mis en série entre Vcc et la masse, (b) En **technologie MOS**, le troisième état est assuré par un transistor supplémentaire placé sur la ligne de sortie.

VI.9. Comparaisons CMOS et TTL

VI.9.1. Pour la marge de bruit

Jusqu'à maintenant, nous avons comparé les caractéristiques de temps de propagation et de dissipation de puissance. Essayons maintenant d'examiner la marge de sensibilité aux bruits.

Le tableau VI.1 compare les marges de sensibilité aux bruits entre les principales séries de circuits intégrés numériques.

Marge aux bruits	74HC	74	74S	74LS	74AS	74ALS
Min (M_H , M_B)	0.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4

Tab VI.1: Marges de sensibilité aux bruits entre les principales séries de circuits intégrés numériques.

On peut donc remarquer par ce tableau que les marges de sensibilité aux bruits pour les circuits CMOS sont donc, meilleures par rapport à celles des circuits TTL. En effet, les CMOS sont particulièrement intéressants pour les applications que l'on doit monter dans les milieux très parasités (donc, où il y a beaucoup de bruit); par exemple, à proximité d'un moteur électrique.

VI.9.2. Pour l'intégration des transistors

Les circuits intégrés (TTL ou CMOS ou autres) sont souvent désignés selon le nombre de portes logiques équivalentes intégrées sur la puce (par exemple, en multipliant par 10, on obtient le nombre de transistors). On retient habituellement cinq niveaux de complexité :

Complexité	Nombre de portes
Intégration à petite échelle (SSI)	Moins de 12
Intégration à moyenne échelle (MSI)	12 à 99
Intégration à grande échelle (LSI)	100 à 999
Intégration à très grande échelle (VLSI)	10000 à 99999
Intégration à ultra grande échelle (ULSI)	Plus de 100000

Tab VI.2: Intégration des transistors

La famille TTL domine particulièrement les dispositifs SSI et MSI, tandis que la famille CMOS, domine les dispositifs LSI, VLSI et ULSI.

Par exemple, un microprocesseur 68000 (plus de 10 000 portes) sera principalement réalisé en CMOS.

VI.10. Tableau récapitulatif et exemples de nom de circuits intégrés

VI.10.1. Tableau récapitulatif

	TTL	CMOS
Tension d'alimentation	5V à + ou – 5%	De 3V à 18V
Courant d'entrée	Non négligeable	Nul
Fréquence maximale de fonctionnement	45 MHz	16MHz
Appellation	74xxxx	4xxx
Transistors utilisés	bipolaires	à effet de champs

VI.11. Exemples de nom de circuits intégrés

☞ **Technologie TTL :** ci-dessous sont présentés quelques exemples de CIs,

7400	→	Quadruple porte NON - ET à 2 entrées
7402	→	Quadruple porte NON - OU à 2 entrées
7404	→	6 portes inverseuses
7408	→	Quadruple porte ET à 2 entrées
7413	→	Double porte NON - ET à 4 entrées
7420	→	Double porte NON - ET à 4 entrées
7482	→	Additionneur complet à 2 bits
7493, 74121...etc	→	Compteur binaire, Monostable

☞ Technologie CMOS

4001	→	Quadruple porte NON - OU à 2 entrées
4008	→	Additionneur 4 bits avec retenue
4011	→	Quadruple porte NON – ET
4016	→	Quadruple interrupteur bidirectionnel
4023	→	Triple porte NON - ET à 3 entrées
4030	→	Quadruple porte OU – EXCLUSIF
4047	→	Monostable
4070	→	Quadruple porte OU – EXCLUSIF

VI.12. Utilisations et tests

VI.12.1. Technologie TTL

➤ Porte NAND TTL

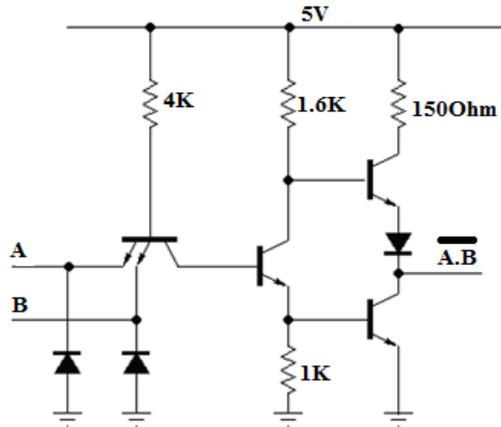


Fig VI.9: Porte NAND en technologie TTL

La Figure VI.9 montre la structure d'une porte NAND en technologie TTL. Remarquons que le transistor à deux entrées, ainsi que les entrées "en l'air" qui vont venir tout naturellement se porter au niveau haut ($-V_{be}$).

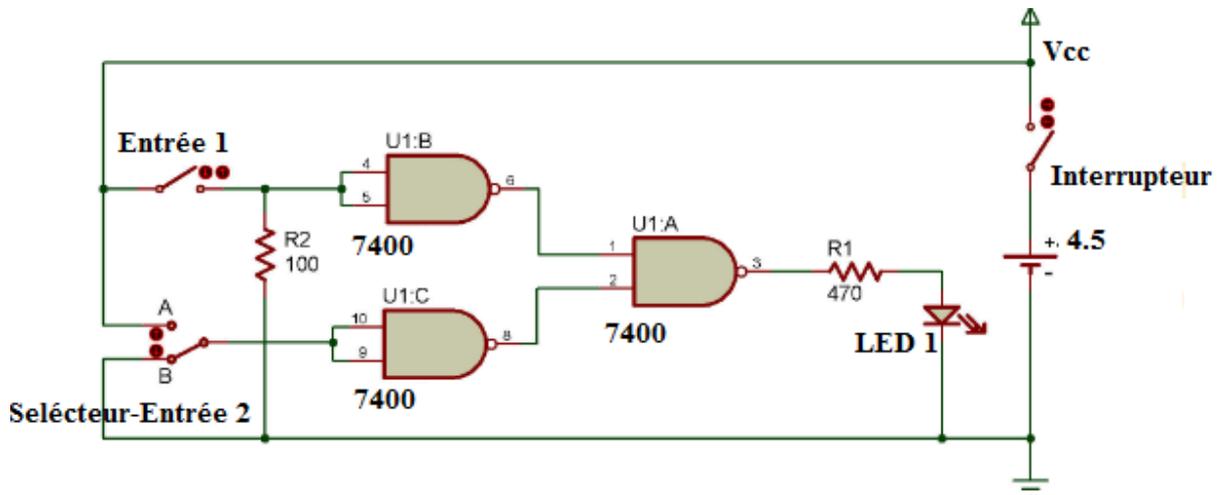


Fig VI.10: Porte Ou TTL

porte OU à partir de portes NAND (CI 7400).

VI.12.2. Technologie CMOS

➤ Porte Non

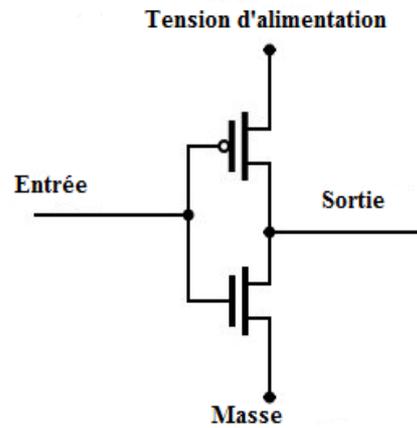


Fig VI.11: Porte NON en CMOS

➤ Porte NAND

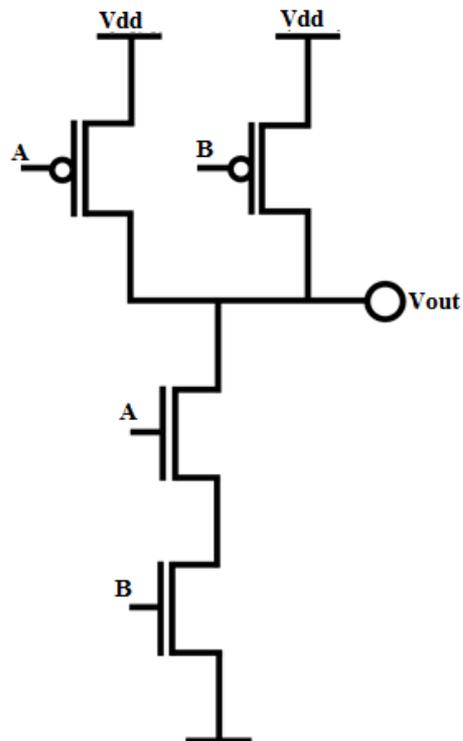


Fig VI.12: Porte NAND en CMOS

VI.13. Tests et pannes

La conception d'un montage à circuits intégrés est souvent beaucoup plus facile que celle d'un montage à composants discrets. De plus, la mise au point est nettement plus réduite et le dépannage est simplifié car, dans de nombreux cas, seules les valeurs de quelques composants passifs (résistances et condensateurs) fixent les caractéristiques du montage. Ainsi et sauf s'il s'agit d'une panne évidente (composant fissuré, ou autres composants jugés en bon état), il faut toujours et de préférence se munir de la datasheet du composant et ce sur le site du constructeur sur Internet, puis vérifiez au voltmètre, et ou à l'oscilloscope la bonne alimentation et la présence des bons signaux aux broches de celui-ci.

Les circuits intégrés tombent quand même moins souvent en panne que les transistors ou autres diodes du reste du montage.

Cependant, voilà quelques étapes pratiques pour tester des circuits intégrés TTL et CMOS :

- ✓ Choisir des circuits intégrés des deux familles technologiques ("4011" en CMOS et "7400" pour les portes TTL, pour cet exemple).
- ✓ Mettre la tension d'alimentation des circuits TTL et CMOS en commun pour tous les circuits logiques et la fixer à 5 V.
- ✓ Mettre les entrées des portes logiques inutilisées à la masse, au +5 V ou sur la sortie d'une autre porte dont les entrées ne sont pas laissées en l'air.

- ✓ Choisir des signaux logiques pour tester les circuits, dans cet exemple, les circuits sont testés avec des signaux logiques (carrés) d'amplitude 5 V crête à crête et à des fréquences de 200 kHz et 1 MHz.
- ✓ Faire des relevés graphiques des signaux logiques avec un oscilloscope à des endroits différents (entrée et/ou sortie des circuits intégrés) et ce en même temps.

VII.1. Introduction

Dans les soucis électriques liés aux automobiles, on entend souvent parler de relais. Mais qu'est-ce donc cette chose là et à quoi sert-elle ?

Autrefois il n'y avait pas de relais dans les autos, on avait simplement une source d'énergie (batterie) reliée à des accessoires, avec donc un interrupteur sur le chemin pour allumer ou éteindre l'accessoire en question.

VII.2. Le Relais

Un relais électronique est un interrupteur qui se commande avec une tension continue ou alternative de faible puissance. La partie interruptrice sert à piloter des charges secteur de forte puissance, jusqu'à 10 ou 16 Ampères couramment. Les contacts des relais sont décrits avec d'une façon précise.

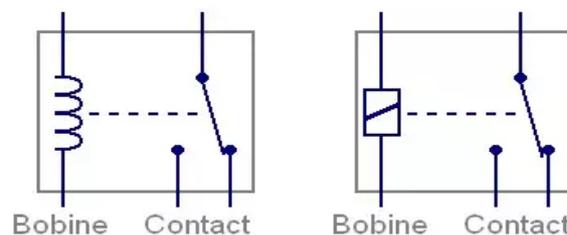


Fig VII.1 : Symboles du relais

VII.3. Alimentation d'un relais

Un relais consomme un certain courant (quelques milliampères ou quelques dizaines de milliampères), et la coupure de courant dans sa

bobine de commande peut parfois provoquer des parasites d'amplitude élevée sur la ligne d'alimentation. Si on ne prend aucune précaution, ces parasites peuvent perturber le circuit de commande, voir détruire des composants. Afin de minimiser l'impact néfaste des parasites provoqués sur la ligne d'alimentation lorsque le relais commute (est alimenté ou au contraire n'est plus alimenté), il convient de bien séparer l'alimentation du relais et l'alimentation du circuit de commande. Comme la montre en exemple le schéma qui suit.

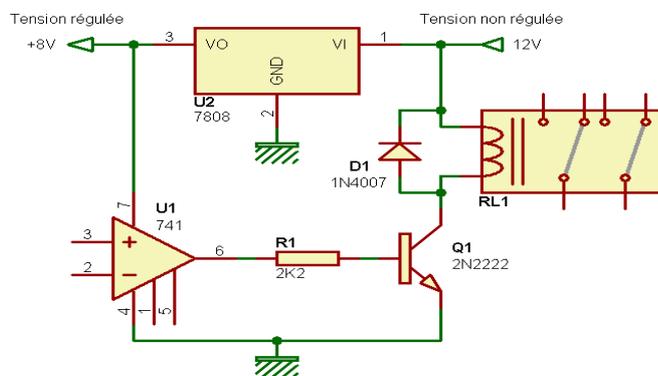


Fig VII.2 : alimentation du relais

Dans ce schéma, le relais est alimenté entre la masse et la tension non régulée de +12 V. Et le circuit de commande du relais, composé d'une AOP épaulée par un transistor commun, est alimenté sous une tension régulée de +8 V, bien séparée (on dit aussi bien découplée). Toute perturbation occasionnée lors des commutations du relais (sautes de courant pouvant occasionner des baisses de tension) sera en très grande partie gommée par le régulateur.

VII.4. Les différents types de relais

VII.4.1. Relais de puissance

Il faut savoir que certains relais de puissance nécessitent un courant minimal de passage pour conserver une bonne fiabilité. Par exemple, un relais prévu pour commuter un courant de 25 A, peut très bien ne pas être correctement exploité si le courant effectivement commuté n'est "que" de 1 A. Ce type d'information est généralement communiqué par le fabricant, mais ce n'est pas toujours le cas. Choisissez un relais dont le pouvoir de coupure est un peu supérieur à la valeur du courant à commuter. Le relais suivant est capable de commuter un courant de 40 A, c'est un modèle très répandu dans le domaine automobile.



Fig VII.3. : Relais auto.

VII.4.2. Relais bistables

Un relais bistable est un relais dont les contacts conservent leur position même après coupure de l'alimentation dans la bobine de commande. Ce type de relais présente comme avantages principaux de ne consommer du courant que lors des commutations et

de conserver en mémoire sa position même en cas de coupure inopinée d'alimentation.

VII.4.3. Relais miniatures

Les relais sont souvent vus comme des mastodontes, comparés aux transistors ou aux triacs. Il en existe cependant des petits, de la taille d'un circuit intégré à 14 pattes et même des bien plus petits. La taille est avant tout proportionnelle au courant maximal pouvant circuler dans les contacts : quand ce courant doit être important, les pièces mécaniques en mouvements sont grosses, et comme elles sont grosses l'élément de commande doit fournir plus de champs magnétiques pour faire bouger les choses.

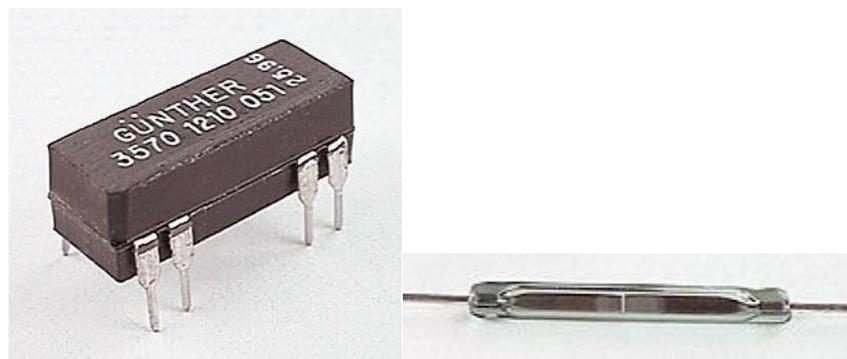


Fig VII.4 : Relais sur un support de circuit intégré standard

VII.4.4. Relais HF

Il s'agit de relais spécifiques, destinés uniquement aux applications haute fréquence. On en trouve à souder sur circuit imprimé, et d'autres qui possèdent déjà une connectique de type HF (BNC ou N), et que l'on appelle plus volontiers des relais coaxiaux.

VII.4.5 Relais à faible consommation

Dans certaines applications, un relais peut rester longtemps activé (en service). Dans le cas où le système est alimenté par batterie et quand l'autonomie est un critère important (surveillance ou sécurité en particulier) ce relais doit présenter une faible consommation électrique. Pour répondre à cette condition, sa bobine doit posséder une résistance ohmique élevée, ce qui pour une tension donnée revient à diminuer l'intensité du courant qui la parcourt.

VII.5. Relais statiques (ou relais à état solide)

Un relais statique, contrairement au relais électromécanique, ne possède pas de pièce en mouvement. La partie "Commande" est généralement constituée d'une source lumineuse (LED), et la partie "Puissance" est élaborée autour d'un ou de plusieurs éléments photosensibles, tel que photo-triac, photo-transistor ou photo-diode associée à un circuit de contrôle. Un relais statique peut être tout petit et tenir dans un petit boîtier DIL à 6 pattes (comme un optocoupleur TIL111 par exemple), ou être gros et prévu pour être monté sur un dissipateur thermique.



Fig VII.5 : Relais statique

VII.5.1 Avantages du relais statique

- Compatibilité accrue avec les circuits numériques.
- Courant de commande plus faible, surtout pour les relais de forte puissance.
- Absence de pièce mécanique en mouvement permettant une durée de vie sensiblement plus étendue, que le nombre de commutations soit ou non important.
- Parasites générés moindres ou inexistant. Un relais statique peut inclure une électronique additionnelle destinée à contrôler précisément le moment de la commutation au niveau puissance. Cela permet par exemple d'effectuer la commutation de puissance d'une tension alternative lors du passage par zéro de l'onde, pour éviter ou limiter les parasites de commutation liés à la coupure brutale d'une tension non nulle.
- Utilisation plus aisée dans des milieux hostiles (explosif), due à l'absence d'arcs électriques.
- Meilleure résistance à la corrosion, liée à l'absence de contacts mécaniques en mouvement.

- Silencieux, la plupart du temps. Ce qui peut être important, dans un hopital par exemple.
- Meilleure isolation entre circuit de commande et circuit commandé, par rapport à celle offerte avec les relais électromécaniques (un isolement de 3KV ou 4 KV en alternatif est plus facile à obtenir avec un relais statique).
- Dans certaines gammes de fonctionnement, un relais statique est moins cher qu'un relais électromécanique. Il peut aussi être moins volumineux, à puissance égale.
- Temps de commutation plus court.

VII.5.2. Inconvénients du relais statique

- Capacité de sortie plus élevée : de l'ordre de 20 pF contre 1 pF pour les relais mécaniques. Cette particularité limite fortement (voire interdit) l'usage de relais statique dans le domaine des hautes fréquences.
- Résistance à l'état passant plus élevée (de l'ordre de 10 ohms contre 0,1 ohm avec un relais mécanique).
- Echauffement excessif quand il s'agit de commuter des courants importants (plusieurs ampères), ce qui peut imposer une ventilation forcée (problème directement lié à la valeur de la résistance à l'état passant). Pour utilisation au courant max, obligation d'ajouter un dissipateur thermique.
- Plus grande difficulté d'inclure dans un même boîtier des contacts multiples (coût de fabrication bien plus élevé).

- Dans certaines applications, une déconnexion physique du relais est nécessaire pour des questions de sécurité, ce qui n'est pas toujours possible avec un relais statique.

VII.6. Petite schématique utile : Commande d'un relais par un interrupteur simple

On n'est pas obligé de passer par un transistor ou un circuit intégré pour piloter un relais. Un simple interrupteur mécanique peut en effet convenir. Avec une tension de commande identique et partagée entre commande et charge, le relais permet de faire l'interface de puissance : tensions identiques mais courant "amplifié". Le schéma qui suit montre un exemple d'un tel cas de figure : un ILS (interrupteur à lame souple qui lui-même ne peut pas laisser passer un courant très élevé) sert à activer le relais pour commuter de la puissance.

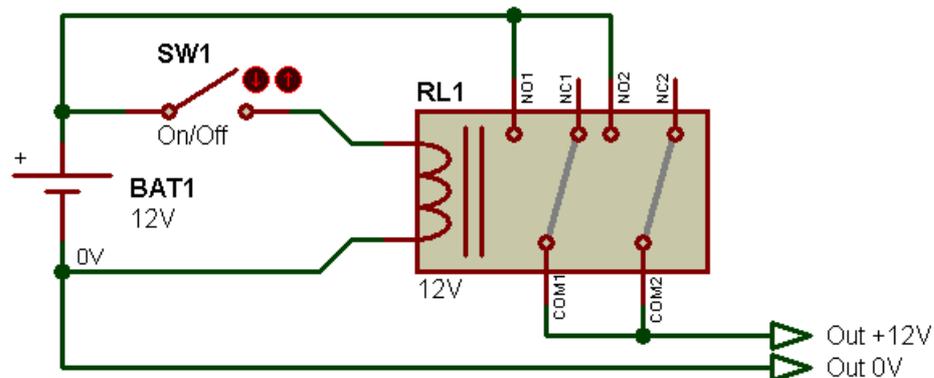


Fig VII.6 :Commande d'un relais

L'interrupteur SW1 peut être n'importe quel organe de commande mécanique, la seule contrainte est qu'il supporte la tension de 12 V et le courant consommé par la bobine du relais. Un ILS, un interrupteur à levier ou un bouton-poussoir standard conviennent. Dans le schéma,

deux contacts du relais sont mis à contribution (COM1-NO1 et COM2-NO2, le relais est montré dans sa position de repos). Cela permet de doubler le pouvoir de coupure, car si un seul contact peut commuter un courant max de 4 A, alors deux contacts identiques en parallèle permettent de commuter 8 A.

VII.7. Les microphones

On en utilise tous les jours : les téléphones, les interphones, les guitares, etc.
Et pourtant sait-on vraiment comment ça fonctionne ? Un microphone est un dispositif permettant de capter une onde sonore et de la « transformer » en signal électrique, comme un convertisseur en quelque sorte. En pensant au microphone on pense souvent à la musique et au chant, mais c'est aussi un élément de base de toutes les télécommunications modernes. C'est aussi un instrument de mesure important en sciences.

VII.8. Le haut – parleur

Le haut-parleur (qui représente environ 99% du marché des haut-parleurs) peut être schématisé de la façon suivante :

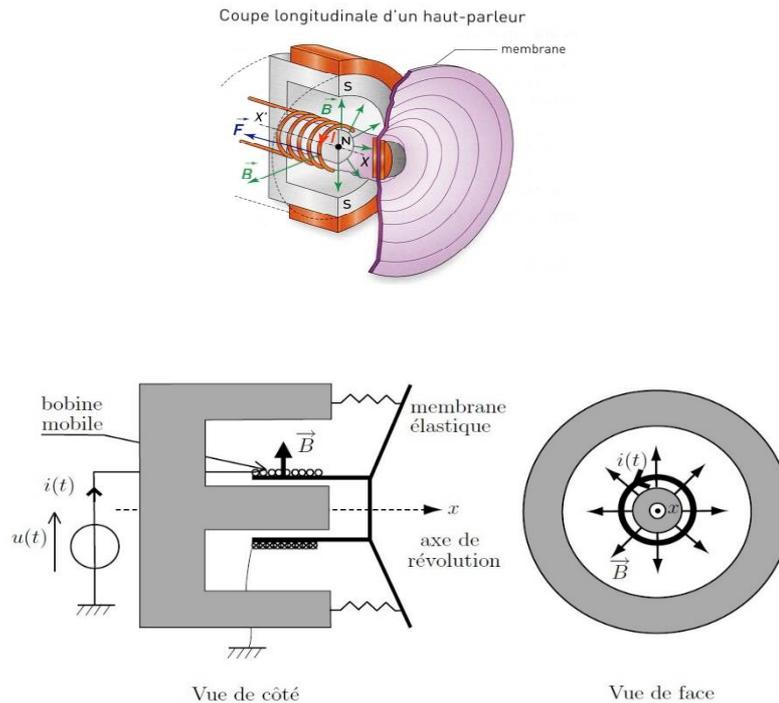


Fig VII.7 : Un haut – parleur

Un **haut-parleur**, ou **hautparleur**, est un transducteur électroacoustique destiné à produire des sons à partir d'un signal électrique. Il est en cela l'inverse du microphone. Par extension, on emploie parfois ce terme pour désigner un appareil complet destiné à la reproduction sonore.

VII.9. Le Buzzer

Les jouets électroniques, les agendas électroniques et bien d'autres objets techniques utilisent un **buzzer** piézo-électrique pour émettre des bips sonores ou pour jouer de petites mélodies. Les faces d'une fine lame d'un cristal particulier sont recouvertes d'électrodes métalliques. Quand on leur applique une tension alternative, le quartz

devient un oscillateur mécanique, vibrant avec la fréquence imposée : c'est la piézo-électricité inverse.

VII.10. Quartz (Électronique)

Le quartz est un composant électronique dit passif, qui a la particularité de vibrer (résonner) à une fréquence bien particulière et très stable. Il intervient dans la réalisation d'oscillateurs, d'horloges, de compteurs, de fréquencesmètres, et en général de tout équipement pour lequel la précision temporelle est importante. Le quartz peut également être utilisé dans la réalisation de filtres éjecteurs à largeur de bande étroite et à fort taux de réjection (d'atténuation).



Fig VII.8 : Un Quartz

VII.10.1. Usages et Applications

Les quartz sont utilisés dans tous les équipements d'émission genre CB, émetteurs FM, micro sans fil de qualité, Talky-Walky (par exemple, un quartz de 27,125 MHz qui correspond au canal 14 de la bande CB), dans les ordinateurs. Dans certains équipements vidéo aussi, tels que les codeurs PAL ou SECAM, où un quartz de 4,43 MHz est utilisé pour la sous-porteuse couleur (chroma). On peut aussi trouver des quartz dans les équipements audios assurant des conversions analogiques vers numérique (ou l'inverse).

VII.10.2. Exemple

Un exemple pratique et moins "technique" : prenez l'exemple de votre montre... à quartz. Elle contient un quartz (en général de 32,768 kHz) qui permet un cadencement précis de l'heure. Divisez successivement par 2 la valeur de ce quartz, jusqu'à ce que le résultat ne soit plus un entier (la division par 2 est très simple à réaliser en électronique).

VIII. Introduction

Tout comme une carte routière indique à l'automobiliste la route à parcourir, un schéma d'électricité permet à l'électromécanicien de localiser des composants, d'analyser le fonctionnement d'un circuit ou d'en lire les différentes tensions.

L'ensemble de ces informations permet d'effectuer le dépannage ou la modification du circuit.

Dans cette étude:

- Nous étudierons les **Principaux constructeurs de composants** que l'on retrouve sur les schémas d'électricité ;
- Nous apprenons le **Brochage Relais** aux composants qu'ils représentent ;
- Nous apprenons également l'**identification des véhicules**.

VIII.1. Principaux constructeurs de composants et sigles d'identification

Afin d'interpréter un schéma électrique, il est nécessaire de connaître les principaux symboles.

• Symboles

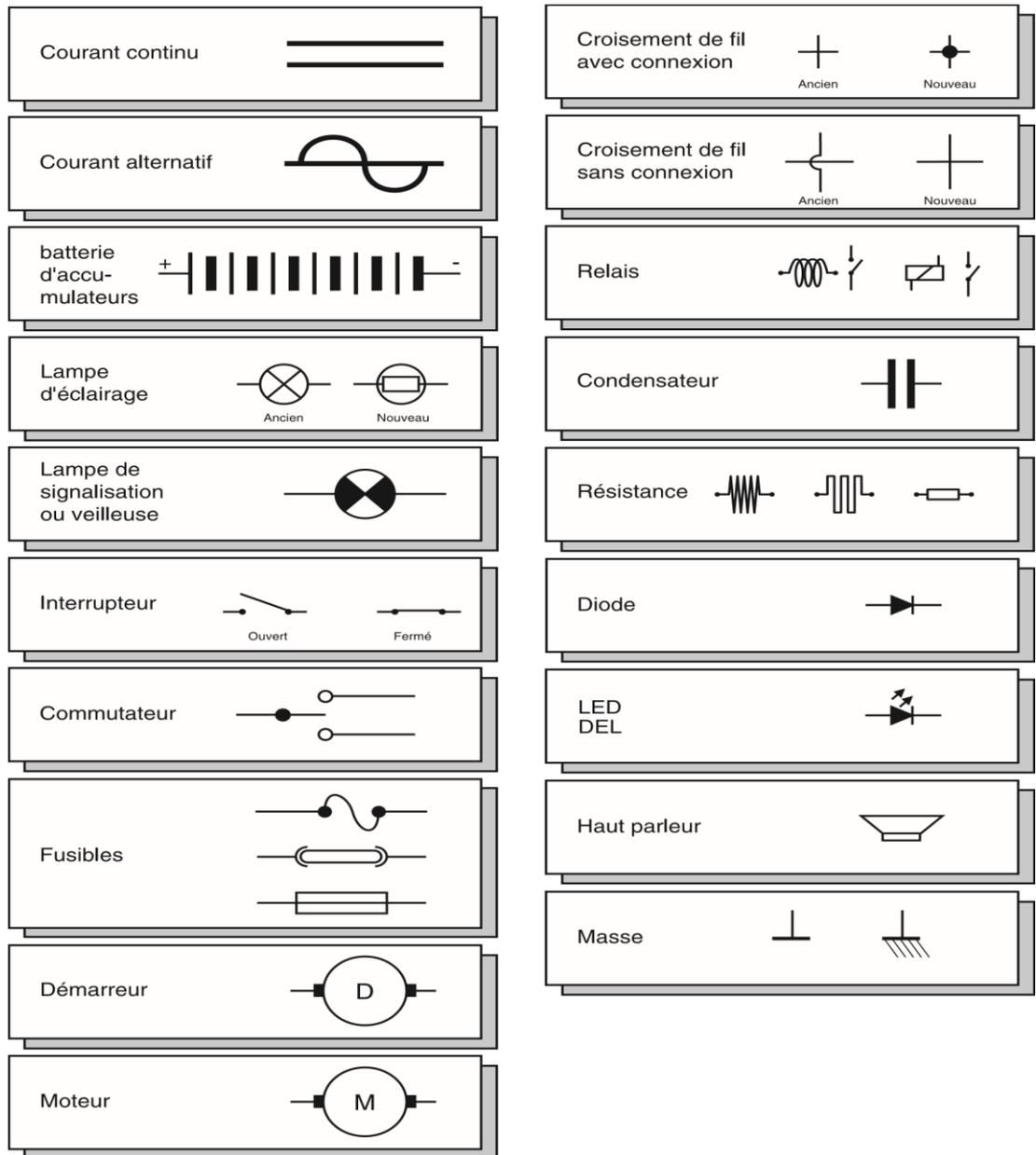
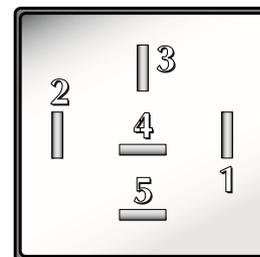
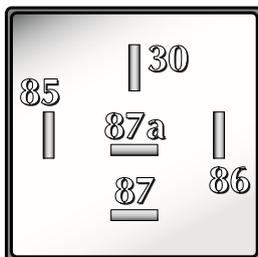
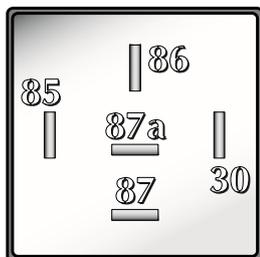
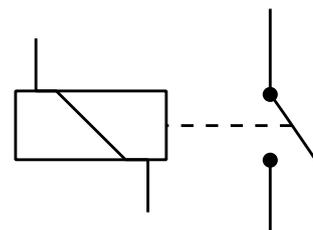
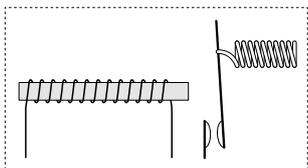


Fig VIII.1 : Symboles

VIII.2. Brochage Relais



Brochage IS O

Brochage DIN

Brochage Français

Schéma électrique	Figuration des connexions	Type
		Contact de travail
		sans borne 86
		avec une borne 87
		contacts de travail jumelés
		Inverseur (utilisable également en contact repos)
		avec résistance en parallèle

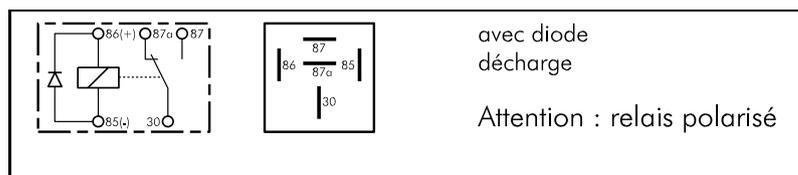
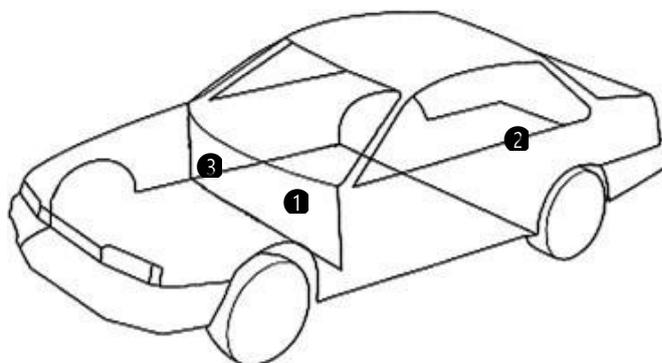


Fig VIII.2: Brochage Relais

VIII.3. Exemples de contenu d'une notice technique de composants les plus utilisés

VIII.3.1. Voiture (A U D I , V W ...)



- ① : VIN
- ② : Plaque signalétique
- ③ : Plaque signalétique

N° d'identification du véhicule	WAUZZZ8E72A151543
Type	8E5 ON4 451683B
Puissance-moteur / boîte de vitesses / mois / année de fabrication	A4 Avant TDI 1.9
Lettres-repères moteur / boîte	96KW M55 11/01
N° peinture / équipement intérieur	AWX ----- FEC
Options	LY7W/LY7W NIH/ LA
	EOA 7A2 4UE 6XD 5SL SRU
	1KD JOR 1LB 1BA
	3FA 5M0 7X1 4R4
	FOA 8GU 0G1 0YL 0JJ
	T9J 3NZ 8J0 U1A X3A 1N1
	2Z0 8G3 9G4 8Z5 D3E
	7Q2 C2F 7K0 4X3 2K1 6R2
	3L5 4KC 3Y0 4K4 5D1
	15A 0CE 01A 4GH
Poids à vide / consommation / Emission de CO ₂	1540 7.5 4.5 5.6 151

FIG VIII.3: Notice technique

VIII.3.2. Identification des véhicules

WVW ZZZ 1J Z Y W 003939
1 2 3 2 4 5 6

1. Code mondial constructeur

WVW : VWAG / Type de voitures particulières	IVW : Volkswagen USA
WV2 : VWAG / Véhicules utilitaires	WAC : Audi Porsche : RS 2
WAU : Audi	WUA : Quattro
TMB : Skoda	VSS : Seat
	TRU : Audi TT

2. Index de remplissage

3. Type de véhicule

4. Année modèle à partir de 1980

A : Modèle 1980 S : Modèle 1995

B : Modèle 1981 X : Modèle 1999

I, O, Q, et U non utilisés

5. Usine de fabrication

M : Ingolstadt
N : Bruxelles
O : Taipei / Taiwan
P : Bratislava
Q : Emden
R : Autolatina
S : Steyr Daimler Puch
T : Hanovre
K : Osnabruck
U : Puebla
V : Neckarsulm

P : Mosel
R : Martorell / Seat
S : Salzgitter
T : Sarajevo
V : Palmela / Auto Europa
W : Wolfsburg
X : Poznan
Y : Navarra / Pamplona / S
1 : Gyor
9 : Hino / Toyota

6. Numéro de production du véhicule

Bibliographies

1. Jean Schutz. Méthodologie De Conception D'une Alimentation A Découpage. Energie électrique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 1999. Français.
2. Support du cours : conception, réalisation et maintenance d'une alimentation double, Yvan Radenac, 17 juin 2003.
3. Livre : « Composants Actifs pour l'Électronique de puissance », C Buttay , 2017
4. Support du cours : Composants actifs pour l'électronique de puissance, Cyril BUTTAY, Laboratoire Ampère, Lyon, France.
5. Support du cours : Composants optoélectroniques, REBIAI-BENAHMED Saïda, 2018
6. Livres: «Introduction to fiber optics », A. GHATAK, K. Thyagaraja, Cambridge University press, « the physics of semiconductors. An introduction including nanophysics and applications », Marius Grundmann, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
7. Support du cours : « Technologie TTL et CMOS », Alisme , mai 30 2008.
8. Support du cours : « Technologie Des Circuits Logiques », Farid Afifi, 2008.
9. Support du cours : « Les circuits intégrés logiques », S.Bensaoula, 2021.
10. Support du cours : « Circuits intégrés logique CMOS », Patrick Abati, 26 /09/2000
11. Support du cours : « Les Composants De L'électronique Numérique », Jean Auvray.
12. Support du cours : « Les Composants de Base de l'Electronique Numérique Et de l'Automatisme », Patric TRAU, université louis pasteur, 09 avril 2019.
13. Livre : « Electrotechnique Bases de l'électricité Broché », Yves Perriard, 20 mars 2014.
14. Livre : « L'installation électrique en fiches pratiques Broché » – Illustré, David Fedullo, 9 novembre 2017.
15. Livre : « LIGHT-EMITTING DIODES », E. F. SCHUBERT, CAMBRIDGE University Press, 2003
16. Livre : « Optoélectronique, Composants photoniques et fibres optiques », Toffano Zéno, Edition Ellipse, 2001.