

15/86

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

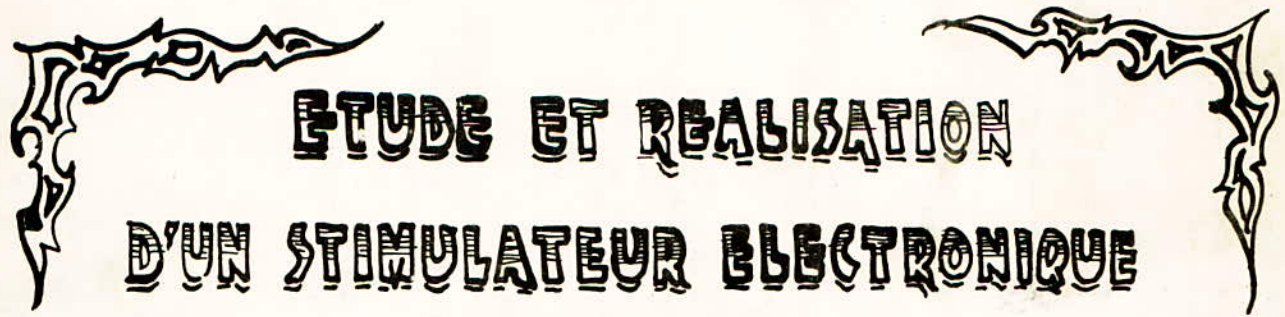
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Jerc

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES



ETUDE ET REALISATION

D'UN STIMULATEUR ELECTRONIQUE

D'EMG

PROPOSE PAR

D.E. ZFOUZ

ETUDIE PAR

A. FERDJOUNI
M. LARACHI

DIRIGE PAR

D.E. AZZOUZ

PROFESION : Janvier 1986

بسم الله الرحمن الرحيم

—DEDICACES —

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE —
Ecole Nationale Polytechnique

- A mon grand-père.
- A mon père.
- A ma mère.
- A mes frères et soeurs.
- A mes oncles et ma tante.
- A la famille IADJEL .
- A mes cousins et à tous mes amis

—MOHAMED —

- A ma Mère et A mon Père.
- A mes frères et à mes soeurs .
- Au membres de ma Famille , A Tous mes Amis

je dedie ce modeste travail

ABDELAZIZ

"Nous Paisons l'eau de mer avec une coquille"

I. Newton.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier particulièrement monsieur AZOUZ DJAMEL.E.

Notre promoteur, dont l'aide et les conseils précieux,
nous ont été très utiles dans notre travail.

Que le docteur A.N.MASMOUDI, du service de neurologie du
CHU Mustapha d'ALGER , ainsi que monsieur M.HALOU du
service de rééducation du CHU de TIXERAINNE, trouvent ici
l'expression de notre profonde gratitude.

Que toute les personnes qui nous ont aidé soient remerciées

-INTRODUCTION

CHAPITRE I : Elément d'E.M.G.

- I.1. Base théorique et Principe
 - Préliminaire
 - I.1.1. Notion de base
 - Présentation de l'EMG.
 - Principe et techniques.
- I.2. Lois fondamentales de l'EMG.
- I.3. Electrodiagnostic de stimulation et de stimulo-détection
 - I.3.1. Electrodiagnostic de stimulation
 - Etude de la transmission neuro-musculaire
 - Recherche de fibrillation provoquée par des ondes rectangulaire de longue durée
 - I.3.2. Electrodiagnostic de stimulo-détection
 - Mesure de la vitesse de conduction motrice
 - Mesure de la vitesse de conduction sensitive
 - Réfléxologie
 - I.3.3 Exemple d'application
- I.4. Utilité de l'appareil
 - I.4.1. Installation globale d'EMG.
- I.5. Etude sur les appareils déjà existants

CHAPITRE II / : Etude du stimulateur

- II.1. Cahier des charges
- II.2. Conception du stimulateur
 - II.2.1 Schéma synoptique
 - II.2.2. Obtention des différents signaux
 - A) Etude sur les circuits intégrés utilisés
 - a) NE 555.
 - b) CD 4047.
 - B) Circuit "simple impulsion"
 - C) Circuit "train répétitif"
 - D) Circuit "train plus post-impulsions"
 - E) Déclenchement Externe
 - a -commande manuelle
 - b -commande par signal externe
 - F) Circuit de sortie
 - a- Amplification
 - b- Transformateur d'impulsion
 - c- Temps d'ouverture
 - d- Logique de commande
 - G) Alimentation

CHAPITRE III / : REALISATION

- III.1. Circuit imprimé
- III.2. Problèmes relatifs à la réalisation
 - Améliorations
- III.3. Essais

-CONCLUSION

ANNEXES

- Annexe 1: Electrodes
- Annexe 2: Transformateur d'impulsion
- Annexe 3: Sécurité du patient
- Annexe 4: Documents techniques

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Dans sa vie quotidienne, l'homme rencontre beaucoup de problèmes et de difficultés qu'il doit résoudre pour améliorer son cadre de vie. Parmi les plus importants problèmes qui se posent à lui, l'homme s'inquiète le plus de sa santé; dans le but de préserver celle-ci, il a mis la science et la technologie à son service.

L'électronique est, sans doute l'une des branches qui contribuent le plus à ce travail, ainsi un grand nombre d'appareils électroniques sont mis à la disposition des malades et des médecins. L'implantation a été d'un apport appréciable par l'implantation d'appareil à l'intérieur du corps du malade. Pour les médecins, il existe beaucoup d'appareil d'aide au diagnostic et d'assistance aux médecins, notamment aux chirurgiens lors d'opérations complexes. Citons pour exemple le microscope électronique, le scanner, la spectroscopie RMN. Notre travail consiste en la conception et la réalisation d'un appareil servant dans le domaine de l'EMG.

L'EMG étudie les muscles et les nerfs de façon générale. Notre appareil qui est un stimulateur, va se substituer à la commande volontaire d'un muscle quelconque en envoyant des stimulus électrique vers ce muscle à travers le nerf, ou même à travers le muscle lui même. Le stimulus électrique est envoyé à l'aide d'une électrode.

Dans la pratique courante un stimulateur n'est jamais utilisé seul, mais il nécessite l'utilisation d'une unité de détection et une unité de traitement des signaux recueillis. L'unité de détection est réalisée à partir d'un amplificateur très sensible qui est généralement constitué de plusieurs étages d'amplification. L'unité de traitement est constituée d'un oscilloscope cathodique à plusieurs voies, d'un haut-parleur et d'une imprimante.

Notre appareil et l'appareillage d'EMG en général, ne tend pas à substituer au médecin, ni à fournir un diagnostic tout fait mais, il est destiné à être au service du médecin et être pour lui un outil d'investigation.

Il doit **prés**enter divers possibilités de choix quant **au** type d'impulsion à envoyer, quant à leurs durées et à leurs amplitudes, d'où la nécessité des commutateurs utilisés; cet appareillage n'étant pas destiné à des techniciens de l'électronique, mais à des personnes travaillant habituellement dans le domaine de la santé, il s'avère nécessaire de faciliter son utilisation.

Dans notre étude, le premier chapitre traite des principes physiologiques ainsi que des techniques de base utilisées en EMG, le deuxième chapitre met l'accent sur les circuits générateurs des différents signaux, ainsi que du circuit de sortie qui permet de choisir l'un des signaux générés, dans le troisième chapitre, la réalisation pratique est traitée **ainsi que**, les essais et **quelques** remarques concernant **les améliorations** éventuelles.

La conclusion intervient **en** dernier lieu. **Une** annexe regroupe **quelques** documents techniques.

CHAPITRE I

ELEMENTS D'E.M.G

II) Base Theorique et Principe de L'E.M.G.

Preliminaire

L'excitation d'un nerf peut être obtenue à l'aide d'excitants de diverses natures:

- Excitants mécaniques: pincement piquure etc...
- Excitants thermiques: toute variation brutale de température,
- Excitants chimiques: acide dilué, base diluée...
- Excitants électriques.
- Excitants physiologiques.

Le stimulus électrique est le plus maniable, le plus aisé à mettre en oeuvre, à contrôler à employer pour effectuer des mesures et on peut régler, à volonté, l'intensité et la durée d'action, de plus il ne désorganise pas les tissus.

La stimulation est un chapitre important de l'électrologie, on peut le diviser en deux parties: la stimulation par voie interne et la stimulation par voie externe.

La Stimulation par voie Interne:

Elle est réservée aux actions de longue durée. Les méthodes utilisées permettent de conserver une certaine mobilité aux sujets appareillés les réglages étant exclus les appareils sont miniaturisés et implantables.

Exp: Stimulation cardiaque.

La Stimulation par Voie Externe: Elle est habituellement réservée aux actions de courtes durées. Cela permet d'immobiliser le patient puis de mettre en oeuvre un matériel aux possibilités multiples.

Les problèmes résolus par ce moyen sont donc très spécifiques.

11.1/ NOTION DE BASE D'ELECTROPHYSIOLOGIE

Présentation de L'E.M.G.

L'E.M.G. regroupe l'ensemble des techniques qui permettent la mesure de l'activité des muscles et des nerfs et leurs réponses aux **stimulations** électriques. Aux cours des trois décennies passées, L'E.M.G. a pris une place de plus en plus importante parmi les méthodes d'investigation indispensables en neurologie dans l'analyse des troubles moteurs.

... L'électrodiagnostic classique de stimulation étudie les caractéristiques d'excitabilité du nerf et du muscle, L'E.M.G. électrodiagnostic de détection enregistre les variations de potentiel électrique dus à l'activité du système neuro-musculaire. Leurs progrès est lié aux progrès de l'électrophysiologie avec l'utilisation de l'oscilloscope cathodique et avec l'introduction des aiguilles électrodes coaxiales qui permettent de recueillir à l'intérieur du muscle des variations de potentiels élémentaires d'où une interprétation des anomalies électriques observées.

Utilité de L'E.M.G.

A coté de la contraction musculaire naturelle il est intéressant d'enregistrer les contractions provoquées par stimulation électrique. De point de vue technique la stimulation électrique introduit de nouvelles difficultés dues à des artéfacts produits par la diffusion des courants d'excitation.

I.1.2 / Lois Fondamentales de L'excitation Neuro-musculaire

La compréhension du mécanisme de l'électrodiagnostic est régie par des notions relativement simple concernant les lois de l'excitation neuro-musculaire.

Notion de Seuil

Pour qu'une incitation électrique provoque une excitation du nerf et du muscle avec efficacité il faut que le stimulant réponde à plusieurs conditions.

- L'intensité de l'excitant doit varier brusquement.
- L'intensité de l'excitant doit avoir une valeur minimum appelée rhéobase (notée I_r) au dessous de laquelle on n'a pas d'excitation.
- L'excitant doit avoir une durée d'action minimum (noté θ) au dessous de laquelle on n'a pas d'excitation.

La figure I.2 représente la région des excitations efficaces.

Remarque

La chronaxie est le temps de passage du courant nécessaire pour obtenir une contraction.

Deux types de générateurs sont utilisés.

- Générateur de tension constante.
 - Générateur de courant constant.
- Chacun d'eux à ses avantages.
- Le courant constant est plus indépendant des variations de la résistance de la peau.
 - La tension constante est moins douloureuse pour le patient et permet d'obtenir des courbes de dénervation plus nette.

I.3. / L'ELECTRODIAGNOSTIC DE STIMULATION ET DE STIMULODETECTION

I.3.1. L'électrodiagnostic de Stimulation

Courant Utilisés:

Courant Galvanique: C'est une onde rectangulaire d'intensité et de durée - variable la durée est de l'ordre de quelques millisecondes (de 100 à 300 ms).

Courant bref ou faradique:

C'est une onde rectangulaire d'intensité variable et de durée brève ne dépassant pas une milliseconde (1 ms) on peut faire une stimulation aussi par des courants progressifs (rampe) décharge de condensateur ou par courant alternatif sinusoïdal de moyenne fréquence.

Comme tout examen complémentaire L'E.M.G. est vraiment utile dans la mesure ou l'exploration clinique minutieuse des malades permet de lui poser des questions précises, certes l'examen E.M.G. fournit dans certaines cas des réponses pathognomoniques permettant par leur seule présence un diagnostic mais le plus souvent ses résultats, devront être confrontés avec ceux de la clinique.

Principes et techniques

Etude Physiologique

L'activité de la fibre musculaire est liée à la propagation d'une onde de dépolarisation créant des différences de potentiels. La détection, l'amplification et l'enregistrement de ces variations de potentiels constituent le but de L'E.M.G. Mais dans le muscle normal la fibre musculaire n'a pas d'activité propre l'unité fonctionnelle est représentée par l'unité motrice.

Unité Motrice

Elle est constituée de corps cellulaire du motoneurone qui se trouve dans la corne antérieure de la moëlle de son axone qui va contribuer à constituer les racines rachidiennes les plexus puis les nerfs et des fibres musculaires innervées par les filets terminaux de cet axone. Selon la nature du muscle une cellule motrice innerve un nombre variable de fibre musculaire pouvant aller d'une dizaine de fibres à plusieurs centaines. (fig I.1)

A chaque influx nerveux émanant du motoneurone correspond une variation de potentiel représentant la sommation des variations de potentiels élémentaires traduisant l'activation de toutes les fibres musculaires appartenant à la même unité motrice cette activation de la fibre musculaire répond à la loi du tout ou rien et la transmission neuro-musculaire se fait coup par coup.

Polarisation et Dépolarisation de la Fibre Musculaire

En absence de contraction les charges électriques positives sont à l'extérieur de la fibre et les charges négatives à l'intérieur.

Lors de la contraction musculaire, il se produit une modification de la répartition des charges électriques au niveau de la membrane avec inversion de la polarité, les charges négatives se retrouvent placées à l'extérieur de la membrane et les charges positives à l'intérieur pendant un laps de temps très court. Il est possible d'enregistrer une D.D.P. à la surface de la fibre.

Les variations de potentiel liés à la dépolarisation de la membrane des fibres musculaires peuvent être détectés à distance en raison de leur diffusion mais cette diffusion est fonction des milieux traversés.

L'activité électrique du muscle est déterminée par le nombre de potentiel d'unité motrice et par leur fréquence de répétition, elle traduira donc pour ses perturbations les anomalies de fonctionnement des divers constituants de l'unité motrice. Comme le motoneurone constitue la voie finale commune sur laquelle tous les influx qui régulent le fonctionnement du système moteur, l'étude de tracés E.M.G. recueillis dans des conditions appropriées permet également de mettre en évidence les perturbations des commandes de la centrale de la motilité.

Etude de la Transmission Neuro-Musculaire.

L'utilisation de chocs brefs **répétés** à des cadences variables permet de tester la transmission neuro-musculaire et l'étude de la fatigabilité du muscle.

Recherche de la Fibrillation Provoquée par des Ondes Rectangulaire de Longues Dur

Des stimulus galvaniques peuvent être utilisés pour étudier l'excitabilité propre de la fibre musculaire dénervée et provoquer l'apparition de potentiels, de fibrillation dans le muscle dénervés.

Un muscle est dit dénervé s'il ne répond plus à la stimulation ou si son temps de réponse est très long.

Modes de Stimulation.

Deux modes sont possibles:

Stimulation Monopolaire.

Elle se fait à l'aide d'une électrode de petite dimension (5mm de diamètre environ) appelée électrode active reliée au pôle négatif du stimulateur, l'électrode active est appliquée sur le point moteur du muscle ou sur le trajet du nerf que l'on veut stimuler, une électrode large (indifférente) reliée au pôle positif du stimulateur est placée au contact du sujet en un point quelconque du corps à distance de l'électrode active.

Stimulation Bipolaire

Elle se fait avec deux électrodes de petite dimension (5mm environ) reliées aux deux pôles elles sont placées à quelques centimètres l'une de l'autre sur le muscle ou sur le trajet du nerf.

I.32/ L'ELECTRODIAGNOSTIQUE DE STIMULODETECTION

Les techniques stimulodetection reposent sur l'étude des potentiels provoqués par une stimulation extérieur donnée. Elles permettent un examen dynamique des structures neuro-musculaires, en particulier la vitesse et l'altération éventuelle de la conduction nerveuse ainsi que l'étude des réflexes.

Base de Cette Technique:

Le potentiel de repos stable perturbé par un stimulus donne naissance à un potentiel d'action onde de dépolarisation dont la conduction diffère selon le type de fibre considéré, progression lente de proche en proche dans la fibre amyélinique, progression saltatoire passant d'un noeud de ranvier à un autre dans la fibre myélinique. La vitesse de conduction augmente avec la myélinisation le diamètre de l'axone et la longueur internoeuds,.

Un nerf musculaire est composé de fibres différentes dans lequel ni la vitesse de conduction, ni le seuil d'excitabilité ne sont identiques.

a) Mesure de la vitesse de conduction

Le potentiel évoqué par la stimulation pércutanée supramaximale en des points étagés là où le nerf est le plus superficiel peut être recueillie dans un muscle, par aiguille coaxiale de BRONCK ou par électrodes externes (fig I.3) le temps mis par l'influx, pour parcourir la distance qui sépare le point de stimulation

du lieu de recueil, est la latence; la latence est fonction de la distance, de la vitesse de conduction des fibres motrices du nerf et il existe plusieurs autres facteurs qui peuvent intervenir au cours de cette mesure et qui sont variables d'un individu ou d'une mesure à l'autre. Afin d'éliminer tous ces points on mesure la vitesse de conduction entre deux points du nerf. La latence distale correspond au temps mis par l'influx pour parcourir l'extrémité distale du nerf qui comprend les filets terminaux, la plaque motrice et souvent des canaux. La latence tronculaire donne la vitesse de conduction au niveau du nerf, elle est toujours appréciée en différents segments .

Mesure de la conduction sensitive

un choc électrique bref appliqué à l'extrémité distale d'un ~~nerf~~ détermine la propagation d'une onde de dépolarisation le long des fibres sensibles du nerf. En utilisant la particularité que le seuil d'excitation du nerf sensitif est plus bas que celui du nerf moteur, ce qui permet d'obtenir un potentiel d'action sensitif avant que ne soit déclenchée la réponse motrice qui parasiterait la mesure. Le potentiel d'action sensitif est souvent difficile à obtenir car il faut l'extraire d'un bruit de fond important. On peut utiliser des électrodes de contact (cutanées) ou des aiguilles pour stimuler et pour recueillir le potentiel au niveau du tronc nerveux.

Réflexologie

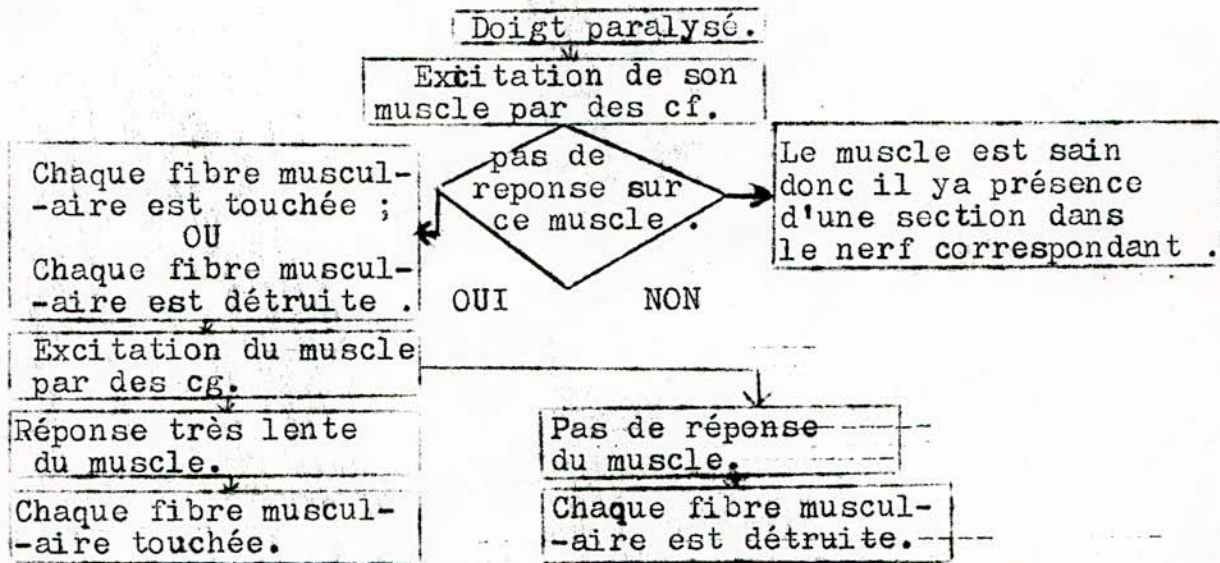
L'étude de la réponse à un stimulus constitue l'une des possibilités de l'examen de la stimulo-détection. Le réflexe d'HOFFMAN est une bonne illustration. La stimulation d'un nerf tel que le "tibial postérieur au creux poplité" avec des intensités croissantes entraîne pour des intensités inférieures au seuil d'excitation, une contraction qui correspond à la réponse réflexe; c'est le réflexe H. Si l'on augmente l'intensité on voit apparaître pour des valeurs liminaires une deuxième réponse (réponse M) plus rapide celle-ci et qui progressivement entraîne la disparition de la réponse H; c'est la réponse motrice directe.

I.3.3) Exemple d'application des courants faradiques (cf) et des courants galvaniques (cg).

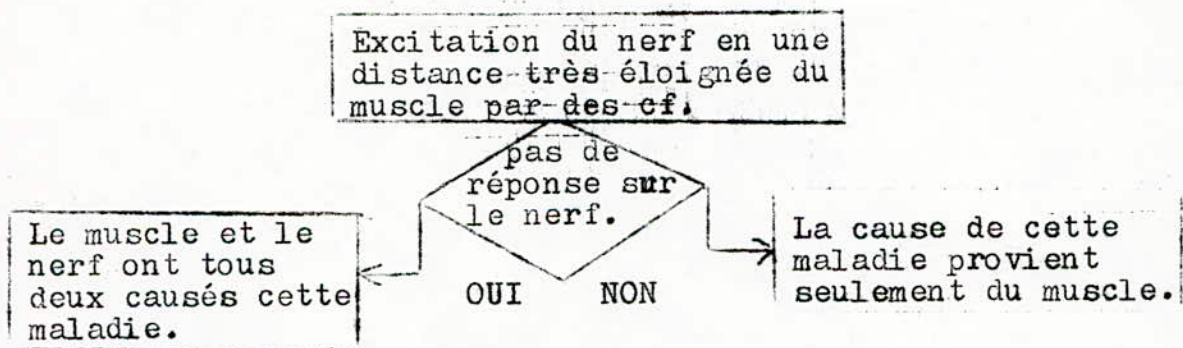
-Supposons qu'un doigt d'une main d'un patient soit paralysé (Fig.I.4). Alors le médecin spécialisé part d'hypothèses de bases qu'il existe 3 causes provoquant cette paralysie:

- Section totale du nerf (Fig.I.5).
- OU- Chaque fibre musculaire est touchée (Fig.I.6).
- OU- Chaque fibre musculaire est détruite (Fig.I.7).

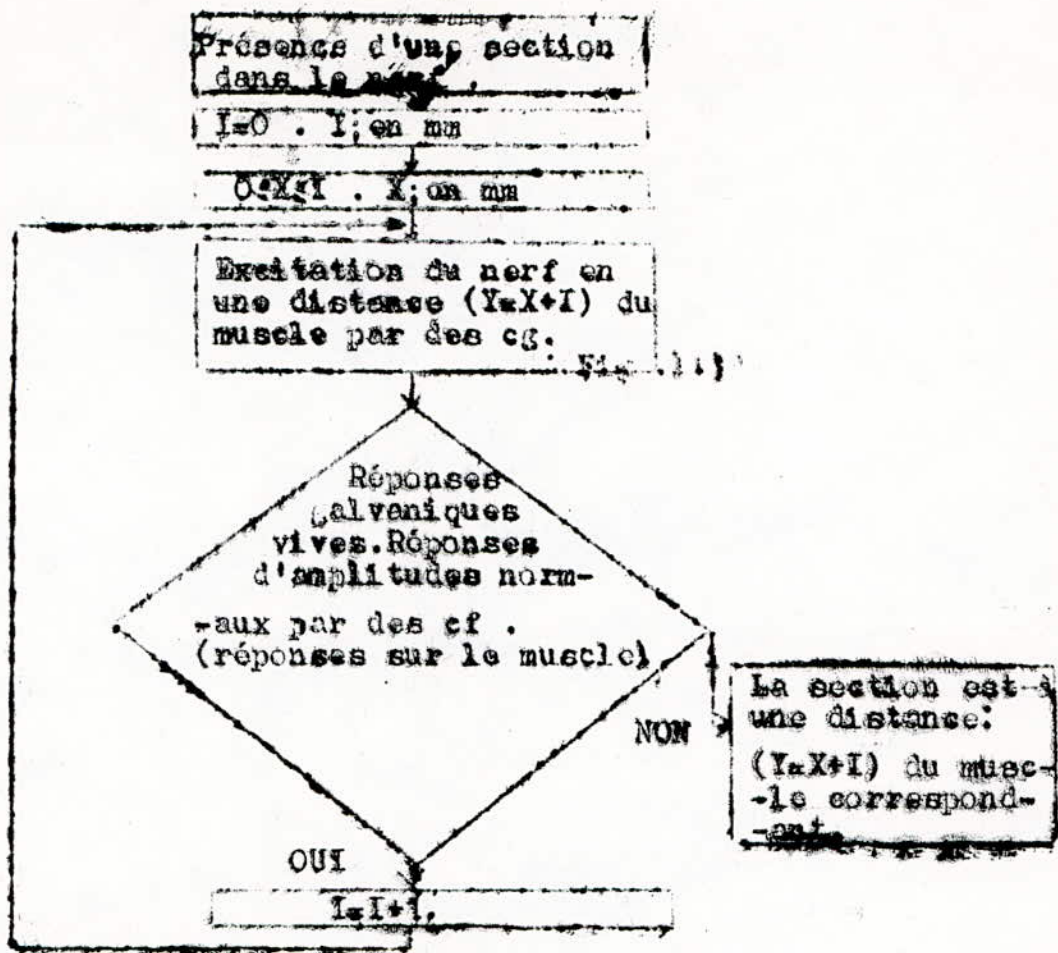
a) - Pour trouver la cause exacte de cette maladie, le médecin spécialisé va procéder suivant l'organigramme suivant;



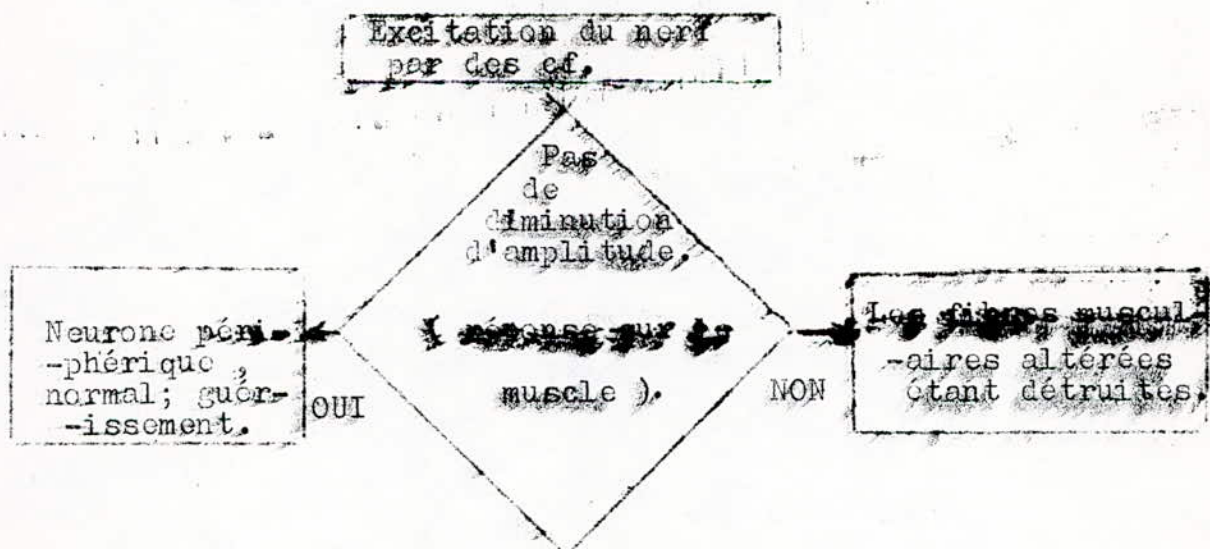
b) - Dans les deux cas, le muscle est la cause de cette maladie. Mais, le nerf est-il sain? -----



- cela va procéder suivant l'organigramme suivant;



En cas de régénérescence après suture par exemple ce médecin va suivre l'organigramme suivant;



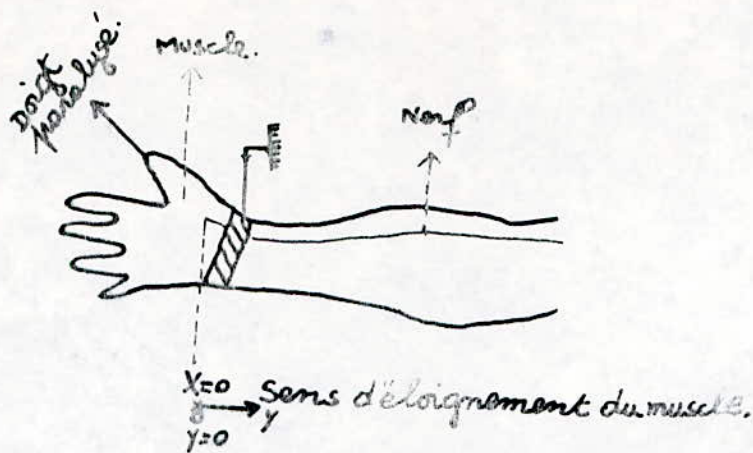


Fig.I.4: procédé de stimulation.

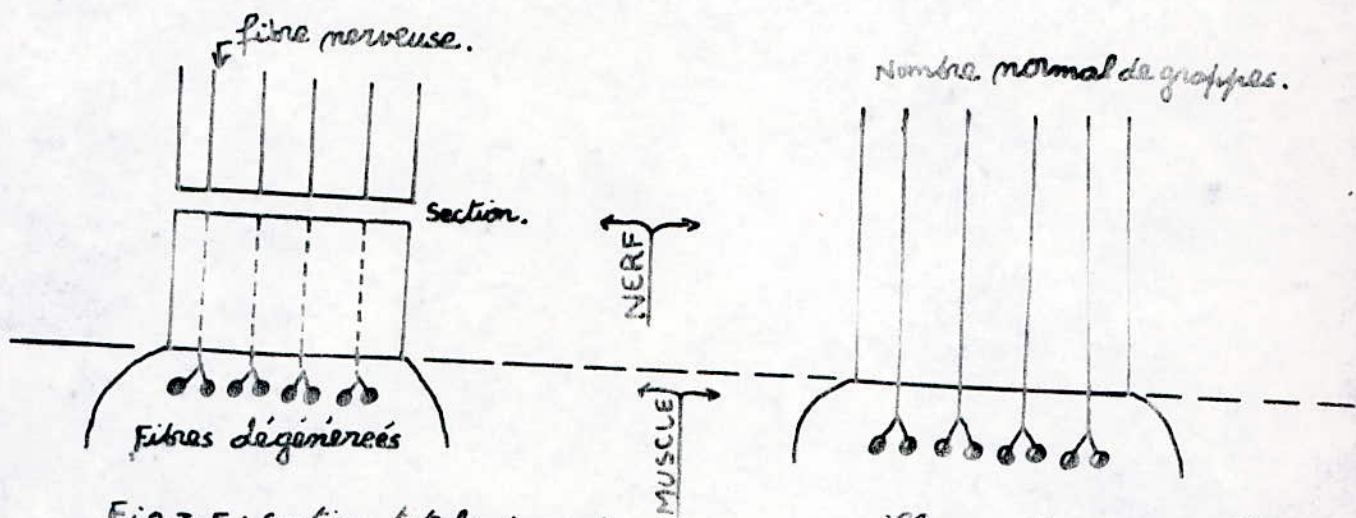


Fig.I.5: section totale du nerf.

Fig.I.6: Chaque fibre musculaire est touchée.

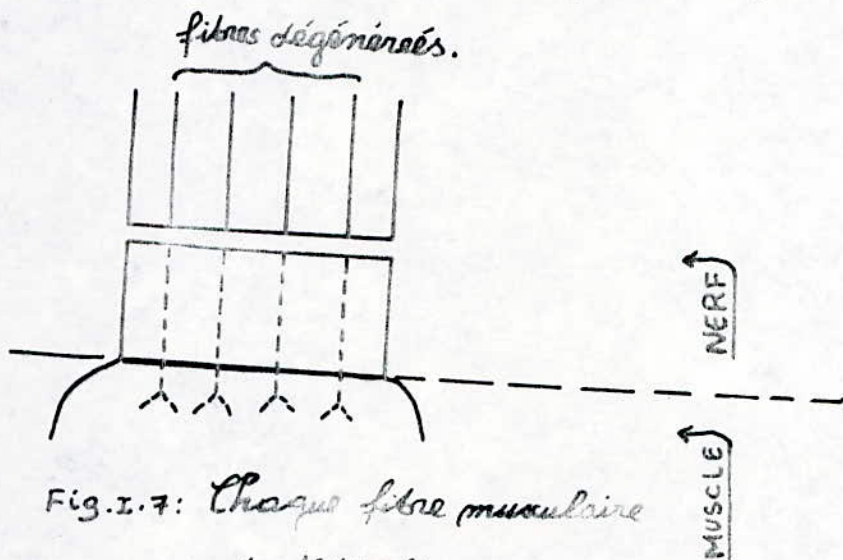


Fig.I.7: Chaque fibre musculaire est détruite.

I.4) Utilité de l'appareil

Le stimulateur sert à générer les impulsions ou chocs électriques dont il a été question durant cet exposé; il doit générer différents signaux.

Il intervient dans :

- Mesure de la vitesse de conduction du nerf moteur.
- Mesure de la vitesse de conduction du nerf sensitif.
- Etude de la fatigabilité du muscle
- Recherche du potentiel de fibrillation.

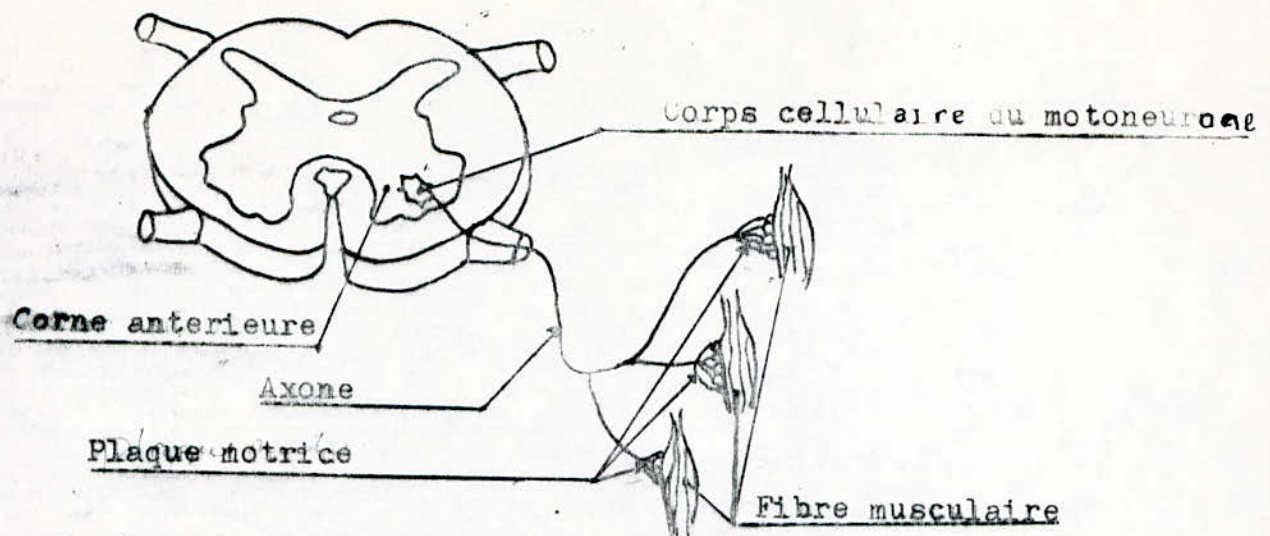


Fig. I.1.: Representation schematique d'une coupe de moelle epiniere et d'une unite motrice

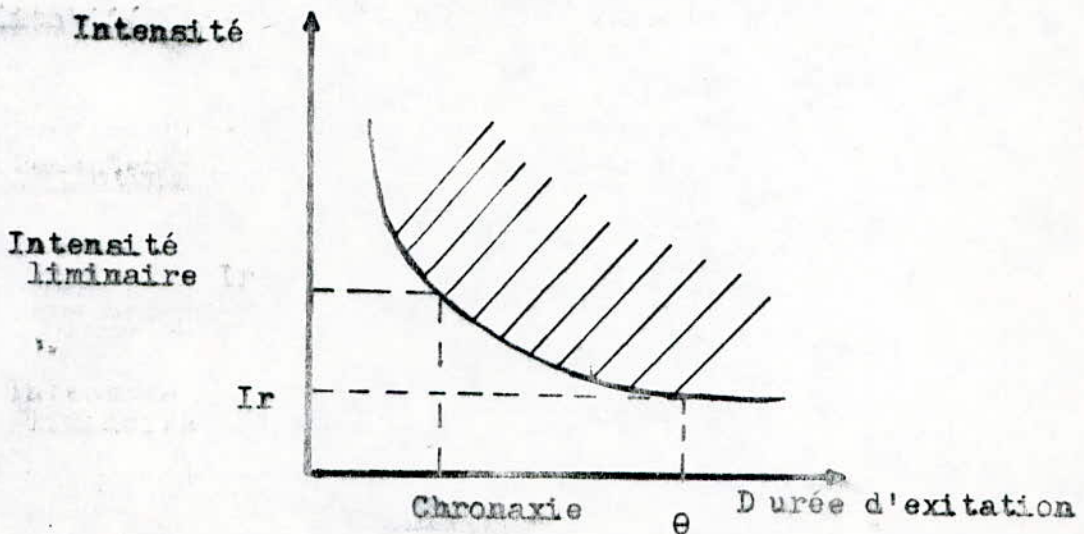


Fig. I.2.: région des excitations efficaces (partie hachurée)

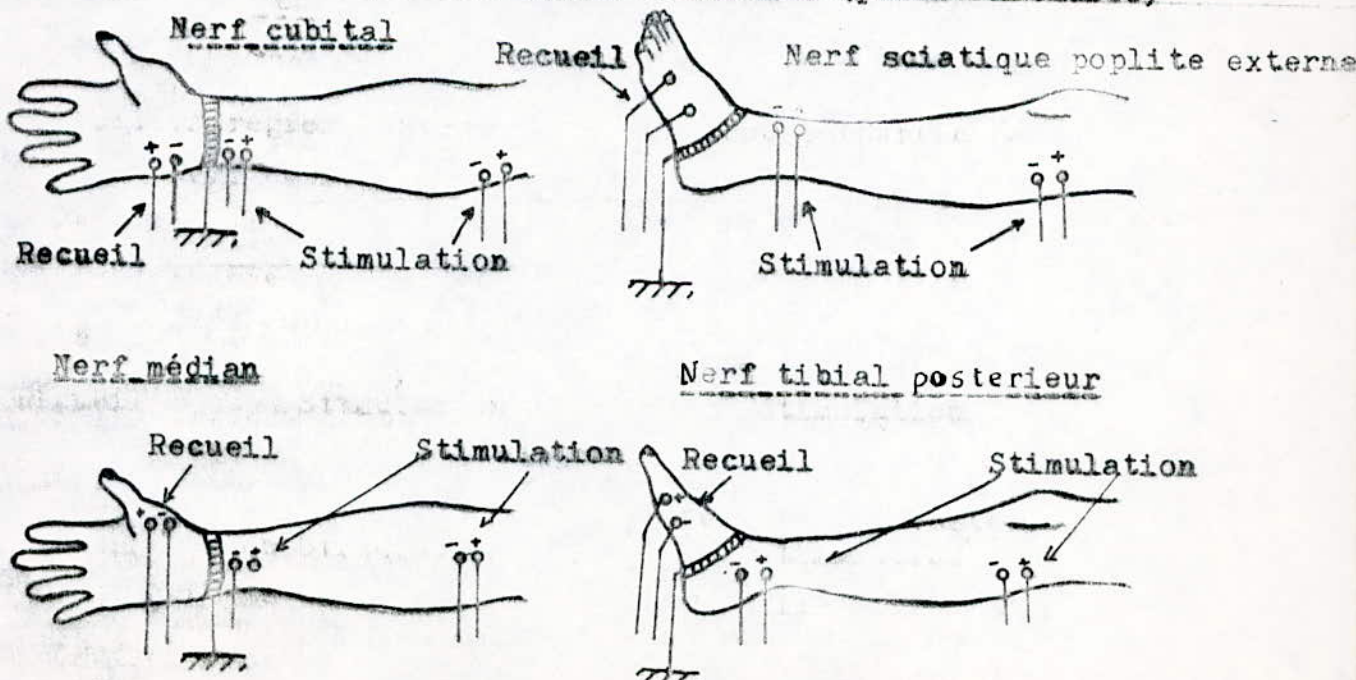


Fig. I.3.: Quelques positions des électrodes

1.4.1) Schéma d'une installation globale d'Électromyographie.

Une installation globale d'EMG doit comprendre (fig. 1-8)

- a- un stimulateur électronique
- b- une électrode de stimulation
- c- un détecteur avec une électrode de détection (avec au moins deux chaînes d'amplification)
- d- un dispositif d'enregistrement photographique

1. Sur un appareil d'enregistrement photographique à déroulement continu. Le balayage du tube cathodique est arrêté, le spot est photographié sur une surface sensible (papier) qui se déroule à vitesse réglable dans l'appareil d'enregistrement.

2. Par enregistrement photographique par vue du balayage du spot de l'oscilloscope cathodique. L'enregistrement est discontinu mais permet en réalisant une économie de papier d'avoir un meilleur étalement du phénomène et une étude plus précise de la forme et de la durée des variations de potentiel.

3. Une sortie sur H.P ou un écouteur : les potentiels musculaires étant suffisamment brèves, ils produisent un "son" dont la tonalité varie, suivant la durée du potentiel. Et à chaque réponse à une excitation correspond un battement sur l'H.P ou sur l'écouteur. Notre étude se limite à la conception et à la réalisation du stimulateur électronique.

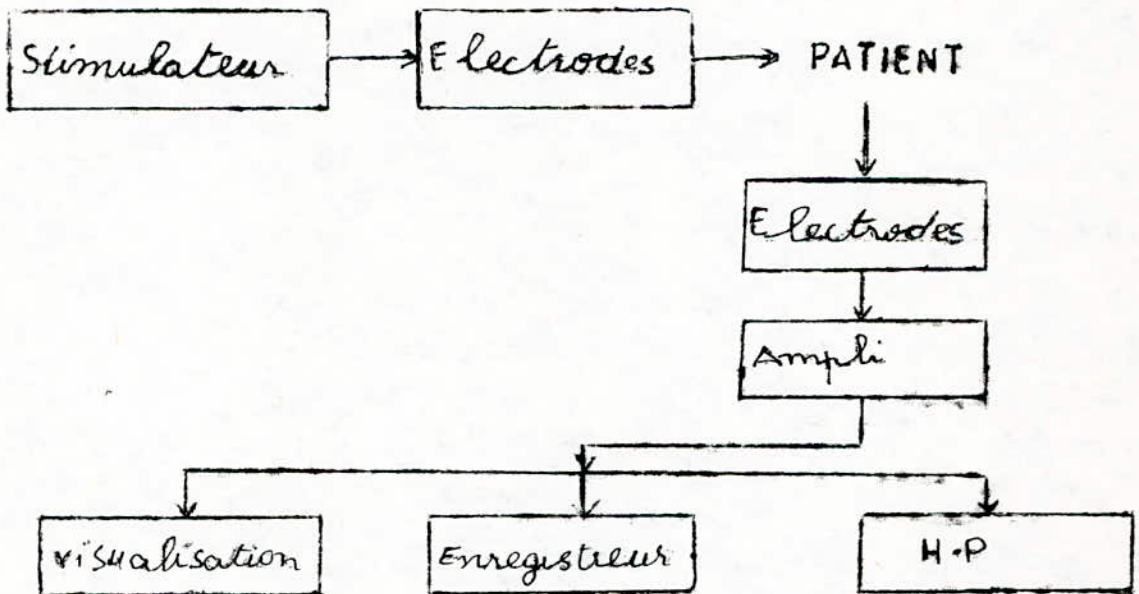


FIG 18

I 5) ETUDE SUR LES APPAREILS DEJA EXISTANT

Nous avons en l'occasion de voir deux modèles différents d'appareils utilisés en E M G le premier est ^{un} appareil provenant du JAPON et construit par la firme NIHON KOHDEN qui comprend toute une série intitulée NEURO PACK et qui regroupe plusieurs modèles .

Le modèle existant à ALGER est le SMP 3100 et sur le quel nous fournissons les indications suivantes .

C'est un stimulateur pour réponse évoquée il peut stimuler par trois signaux différents , électrique , lumineux et acoustique .

La sélection de l'un des modes se fait par bouton poussoir nous nous intéressons ici seulement à la stimulation électrique . Nous donnons les caractéristiques essentielles :

- durée du stimulus :

0,1 0,2 , 0,5 ms

- fréquence des stimulus :

0,1 , 0,2 , 0,5 , 1,2,5, 10,20, et 50 hz en plus d'un mode manuel et d'un déclenchement par signal extérieur .

- Amplitude du signal de sortie : elle est variable de façon continue de 0 à 300 volts

- capacité de fuite de sortie : moins de 250 pF

- indépendance de sortie : moins de 1K Ω

- forme du signal ; c'est une suite d'impulsions dont la durée , la fréquence et l'amplitude sont variables .

Comme nous le voyons cet appareil est peu fourni en possibilités de stimulation électrique : il n'y a qu'une seule forme de signal mais cela se justifie par le fait que cet appareil fait aussi une stimulation par signal lumineux et une autre par signal acoustique . Par contre les autres modèles de la série qui font exclusivement de la stimulation par signal électrique (EX le modèle SEM 4201) nous offrent pour la du signal les modes :

- impulsion simple

- paire d'impulsions
- impulsion aléatoire
- train d'impulsions
- train d'impulsion et post-impulsion.

Les impulsions sont variables en durée, en fréquences et en amplitude et diverses possibilités de choix sont offertes.

Un voltampèremètre permet d'afficher soit la valeur du courant soit de la tension de stimulation, qui sont variables de façon continues

En plus de toutes ces données utiles à l'utilisateur, il existe d'autres données qui sont relatives aux normes et aux exigences introduites par la sécurité du patient et que chaque appareil doit respecter.

Stimulateur DISA

Le stimulateur DISA, d'origine danoise et dont le CHU Mustapha est actuellement pourvu, comporte deux blocs dont les caractéristiques sont:

-Le 1^{er} bloc (I5E06) délivre le signal SP dont:

les fréquences sont :

(0.5; 0.7; 1; 1.5; 2; 3; 4; 5) Hz x(1); x(10); x(100)

les durées sont :

0.1; 0.2; 0.3; 0.5; 0.7; et 1 ms.

-Le 2^{ème} bloc (I5E05) délivre les signaux TR et TPP dont :

les durées du train sont:

0.5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; secondes.

Les délais des post-impulsions sont :

1; 3; 8 secondes

- La tension varie de 0 à 50 V et de 0 à 500 V.

-Le courant maximal de sortie est de 90 mA à 1 k Ω d'impédance d'électrode.

Le déclenchement externe se fait par pédale.

CHAPITRE II

ETUDE DU STIMULATEUR

Dans ce chapitre nous commençons par définir notre cahier des charges, ensuite nous présentons les différents circuits générateurs d'impulsions que nous utiliserons pour notre réalisation.

Nous parlerons également de l'étage de sortie qui contient le circuit de commande, l'amplification et le transformateur d'impulsion. En dernier lieu nous parlerons de l'alimentation stabilisée qui nous fournit les différentes tensions continue dont nous avons besoin.

a) Elaboration du cahier de charge

Ne disposant pas d'une étude théorique approfondie élaborée par des médecins travaillant dans le domaine de l'E.M.G. ou par une équipe pluridisciplinaire groupant des médecins et des ingénieurs, nous nous sommes basés pour la réalisation de notre stimulateur sur des modèles déjà existants et qui sont en service dans certains hopitaux d'Alger. Nous avons vu deux modèles d'appareil de provenance différente. L'un est de fabrication japonaise (le SMP 3100 de NIKONKOHDEN), l'autre est de fabrication Danoise (de la firme DISA).

Le premier modèle est peu fourni en durées de stimulation, il n'y a que trois durées du stimulus différentes, par contre le deuxième est beaucoup plus fourni et possède beaucoup de possibilités.

Pour la forme des signaux délivrés, ils sont axés autour de deux types principaux, l'un est une suite d'impulsion dont la fréquence de répétition et la durée peuvent être choisies à l'aide de commutateur; l'autre est un train qui se répète, là aussi le nombre de stimulus peut être choisi par commutateur, ainsi que la durée totale du train. Dans ce mode on peut avoir un train suivi par une ou deux impulsions, après un certain temps de repos.

Nous avons élaboré le cahier de charge de notre stimulateur en nous basant sur les données citées précédemment et aussi en fonction d'un certain nombre de contraintes que nous avons rencontrées.

* Cahier de charge :

- Stimulateur pour E M G

il délivre trois types de signaux

1) Impulsion simple : SP (Single Pulse)

Ce signal est une d'impulsion dont la durée et la fréquence de répétition sont choisies par commutateurs durées

durées :

(100, 50, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2) ms

fréquences :

(0.5, 0.7, 1, 1.5, 1, 3, 4, 5) Coups/S

(5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50) Coups/S

(50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 500) Coups/S

2) Train repetitif R T : (recurrent train)

C'est un signal qui contient un certain nombre d'impulsion de durée déterminée, ces impulsions constituent un train. Ce train se repete de façon périodique. La durée de tout le train est fixée, ainsi que celle du temps de repos. Dans ce cas nous avons trois paramètres.

- La durée de l'impulsion
- La fréquence de répétition de l'impulsion
- La durée totale du train

Les deux premiers paramètres sont les mêmes que ceux du mode impulsion simple (SP) le troisième est fixé selon les valeurs suivantes.

durées du train :

(0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10) S

3) Train plus post impulsion T P P (Train and post pulses)

C'est un train d'impulsion suivi, après un temps de repos, par deux ou quatre impulsions. La durée de l'ensemble est fixée par commutateur; la durée des post-impulsions est fixée intérieurement et n'exécède pas une seconde.

Le train, suivi par les post-impulsions, a les durées suivantes

(1, 2, 4, 10, 20, 40)S.

La durée de l'impulsion appartenant à ce train ainsi que la fréquence sont déterminées par le circuit S P.

La choix du nombre de post-impulsions se fait par commutateur la forme des signaux de sortie pour les trois modes est donnée par le chronogramme II 1.

Commande manuelle

Elle se fait par bouton poussoir qui remplace ainsi le déclenchement interne. Le choix de la fréquence de répétition des impulsions est laissé à l'opérateur.

La durée de l'impulsion est fixée par commutateur.

Commande par signal extérieur

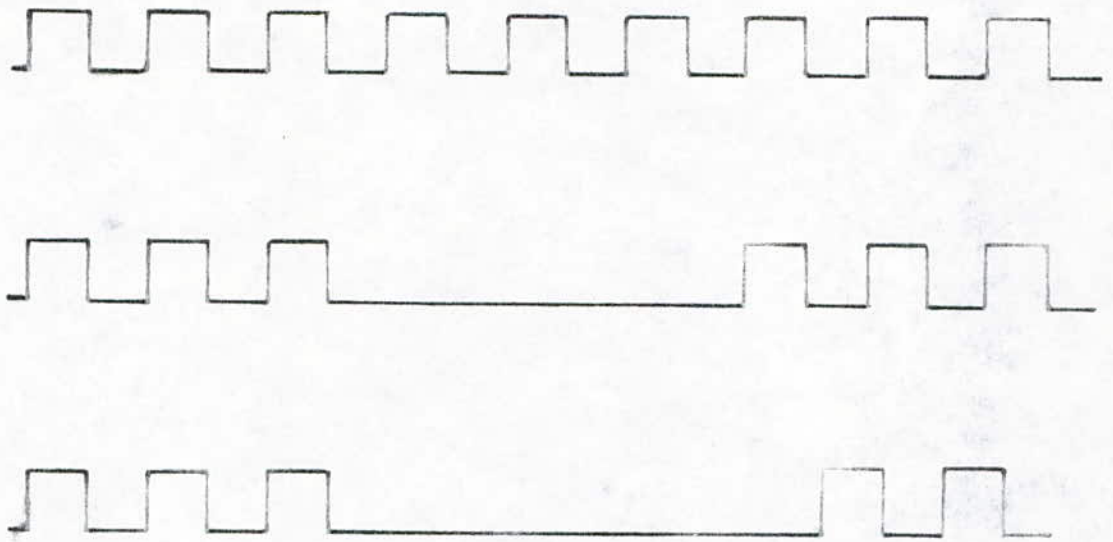
Un signal extérieur (une transition positive ou une impulsion) est appliquée à l'appareil qui délivre des impulsions en sortie. La fréquence de répétition de ces impulsions et leur durée est fixée par les commutateurs du circuit S P.

Le signal est disponible pendant un temps $T_1 = 0.5 \text{ S}$

Niveau du signal de sortie

Le signal de sortie doit être variable en amplitude. Sa variation doit être dans une plage de 0 à 200 V environ. La variation ne doit pas se faire par bonds, mais de façon continue. Le courant de sortie ne doit pas excéder les 20 mA, pour ne pas dépasser la puissance tolérable pour le patient.

Pour un maximum d'isolement entre le patient et l'appareil, la sortie doit se faire sur un transformateur d'impulsion élévateur de tension.



Chr II.1 : chronogrammes des signaux demandés
(SP , TR , TPP)

II.2 Conception du stimulateur

II.2.1) Schéma synoptique

Nous devons générer les trois signaux S P, T R et T P P dont les caractéristiques ont été donné dans le cahier des charges. Le schéma synoptique du montage est donné par la figure II.1

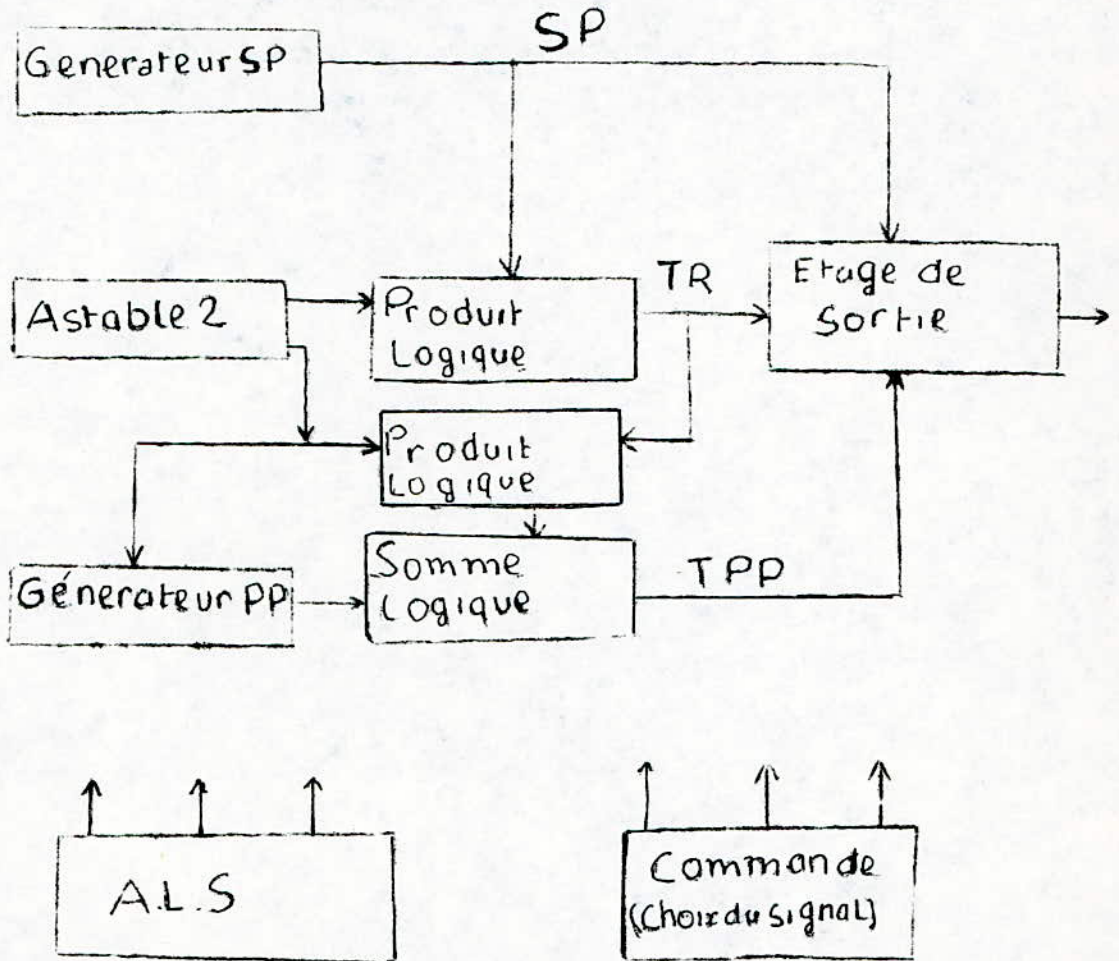


Fig.II.1:schema synoptique du stimulateur.

II.2 3) Obtention des différents signaux :

Avant de faire la description des différents circuits générateurs d'impulsion, il est utile de présenter une description des principaux circuits intégrés utilisés, qui sont le NE 555 et le CD 4047.

Une fois cette description terminée nous aborderons l'étude des différents circuits générateurs de signaux que nous utilisons.

i) le circuit NE 555

- Source de déclenchement (Astable)

On utilise comme source de déclenchement un circuit intégré NE555 monté en astable; ce circuit à huit broches peut se présenter sous deux formes: rectangulaire (boîtier DIL à 8 broches), circulaire :

D'après le schéma fonctionnel des figures II.1.a et II.1.b, nous tirons le fonctionnement de ce circuit intégré.

- La broche 4 : c'est l'entrée de remise à zéro, elle est reliée à l'alimentation pour éviter tout déclenchement non voulu.

- La broche 5 : c'est la tension de référence. Quant elle n'est pas utilisée, elle est reliée à la masse à travers une capacité (10nF) pour éviter les parasites externes.

Principe de fonctionnement :

La table II.1 rappelle la table de vérité d'une bascule R S.

R	S	Q
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	∅

Tab.II.1:table de vérité

d'une bascule RS

L'amplificateur opérationnel 1 est monté en comparateur de tension lorsque le niveau de l'entrée positive est supérieur à celui de l'entrée négative, la sortie est à l'état haut.

Dans le cas contraire la sortie est au niveau bas. Après la mise sous tension, grâce aux trois résistances identiques R qui constituent un diviseur de tension, les tensions aux points A et B deviennent : $V_A = \frac{2}{3} V_{cc}$ et $V_B = \frac{1}{3} V_{cc}$.

La sortie de ce comparateur appliquée à R est donc nulle ; tandis que celle du second, appliquée à S, est au niveau haut. Nous avons alors pour la bascule, les sorties Q à l'état haut et \bar{Q} à l'état bas laquelle est appliquée à la base du transistor T₁, ce qui le bloque, la capacité C se charge alors à travers RA et RB avec une constante de temps égale à $(R_A + R_B) C$. Quand V_c (la tension au bornes de C) croit et dépasse B de quelques microvoltes, le comparateur 2 passe au niveau zéro: On a alors R = S = 0; la bascule garde le même état et la capacité C continue à se charger jusqu'à une tension légèrement supérieure à V_A. Le comparateur 1 passe alors à un niveau haut, d'où R = 1 et S = 0. La bascule change d'état et Q, donc la sortie, est au niveau zéro. Le transistor T₁ est saturé du fait que \bar{Q} appliquée à sa base est au niveau haut, la capacité C se décharge alors à travers R B avec une constante de temps égale à $R_B C$. Comme V_c était à $2/3 V_{cc}$, dès qu'elle décroît de quelques microvoltes, le comparateur 1 passe à zéro; on a R = S = 0; la bascule ne change donc pas d'état. La tension V_c continue à décroître jusqu'à une valeur inférieure à V_B; alors à cet instant le comparateur 2 passe au niveau haut et on a R = 0 et S = 1. La bascule change d'état et la sortie est au niveau haut; tandis que le transistor est bloqué, par le biais de \bar{Q} et ainsi le cycle se repete.

Nous pouvons remarquer que la tension V_c varie entre $1/3 V_{cc}$ et $2/3 V_{cc}$ et que les durées des niveaux haut et bas de la sortie du CI NE555 dépendent de la charge et de la décharge du condensateur C, donc des constantes des temps respectives.

La figure II.1C. nous donne les variations de la tension V_c et le signal de sortie.

La tension de sortie varie de 0 à environ + V_{cc}, tandis que la capacité est chargée et déchargée périodiquement entre $1/3 V_{cc}$ et $2/3 V_{cc}$.

La sortie est à son niveau haut durant le cycle de charge, dont la durée est donnée par : $T_1 = (R_A + R_B) C \ln 2$.

La sortie est à son niveau bas durant le cycle de décharge dont la durée est donnée par $T_2 = R_B C \ln 2$ soit la période totale du signal de sortie est $T = t_1 + t_2 = \ln 2 (R_A + 2 R_B) C$
d'où on tire la fréquence $F = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 (R_A + 2R_B) C}$

Etude du générateur d'impulsion CI NE555 en monostable

Le montage d'un multivibrateur monostable utilisant le CI NE 555 est représentée par la figure II.2. a

Principe de fonctionnement

Pour étudier le fonctionnement du CI NE 555 en monostable, on se réfère à la figure II.2b. Essentiellement le NE 555 a été conçu pour être utilisé en monostable de longue durée. Le principe de fonctionnement est le suivant : au repos la sortie Q de la bascule est à l'état haut, le transistor T₁ est conducteur.

La sortie est à l'état bas. Le déclenchement se fait sur la broche 2; en effet à l'entrée non inversée du comparateur 2 est appliquée une tension de référence égale à $1/3 V_{cc}$. Lorsqu'on applique une impulsion négative, de niveau suffisant, le comparateur 2 bascule, agissant sur l'entrée S du flip/flop, Q passe à zéro; T1 se bloque, la sortie passe à un niveau haut, légèrement inférieur à V_{cc} . Le condensateur C entame alors une charge à travers la résistance R, jusqu'à ce que la tension à ses bornes atteigne $2/3 V_{cc}$. Le comparateur 1 remet alors Q à l'état haut, T1 devient conducteur et décharge C; la sortie repasse à zéro, le cycle est terminé, la figure II.2.C illustre bien ce fonctionnement.

Il est à noter que les tensions de référence des comparateurs composant le temporisateur NE 555 sont fixées par le diviseur de tension constitué par les trois résistances internes identiques (de $5 K\Omega$); aussi le circuit fonctionne seulement à l'arrivée d'une impulsion négative brève de niveau inférieur à $1/3 V_{cc}$. Une fois l'impulsion arrivée la sortie va rester à son niveau haut jusqu'à ce que la période d'écoulement, même si une ou plusieurs autres impulsions arrivent durant cet intervalle; Car elles ne changent en rien le fonctionnement. Le circuit ne répondra à une autre impulsion qu'une fois la période écoulée (Fig II.2.d).

Une impulsion appliquée sur la broche 4, qui est l'entrée de RAZ permet de remettre instantanément la sortie à l'état bas, L'action d'une impulsion sur cette broche est prépondérante sur celle appliquée sur la broche 2. La figure II.2.d nous montre l'effet d'une impulsion appliquée sur la broche 4.

Puisque la tension de la capacité C varie exponentiellement de 0 à $2/3 V_{cc}$ on a alors :

$$t = R C \ln 3 = 1.1 R C.$$

$$t = R C \ln 3 \quad (\text{période du monostable})$$

Quelques fois le monostable utilisant le CI NE555 s'enclenche de lui même sur les fronts d'impulsions positives même si la borne de commande (broche 5) est connectée à la masse par l'intermédiaire d'une capacité. Pour prévenir ce fait, une capacité de $1nF$ et une résistance de $10 K\Omega$ sont ajoutées à l'entrée 2 (Fig II.2. a) elles forment un circuit différentiateur.

- le circuit intégré NE 556 ;

Il a 14 broches et contient dans un seul boîtier deux NE 555 indépendants. La table II.2 donne les correspondances entre les broches du NE 555 et NE 556.

Fonction	NE 555 N° de broche	NE 556 N° des broches
Masse	1	7 et 8
Déclenchement	2	6 et 8
Sorties	3	5 et 9
R A Z	4	4 et 10
Tension de référence	5	3 et 11
Seuil	6	2 et 12
Décharge	7	1 et 13
Alimentation	8	14

Tab II 2

i) le circuit intégré 4047 B

Ce circuit intégré est conçu pour fonctionner en multivibrateurs il a deux modes de fonctionnement possibles soit en astable soit en monostable. Il suffit de lui rajouter deux éléments extérieurs Rext et Cext et d'appliquer les signaux adéquats aux différentes broches d'entrée de ce circuit pour obtenir le mode de fonctionnement désiré. Les éléments extérieurs Rext et Cext déterminent la période du signal de sortie. Ce circuit est fabriqué selon la technologie CMOS et bénéficie donc de tous les avantages qu'offre cette technologie.

- Large plage d'alimentation
- Faible consommation
- Immunité aux bruits

Schéma synoptique interne

Il est donné à la figure II 3 a

La particularité de ce circuit est de donner trois signaux de sortie :

L'un a la fréquence f , les deux autres a la fréquence $f/2$ et en opposition de phase.

Fonctionnement en astable

Ce mode de fonctionnement est obtenu en appliquant un niveau haut sur l'entrée EAO ou bien un niveau bas sur l'entrée EA1. La fréquence du signal de sortie est fonction de Cext et Rext et le rapport cyclique est de 50 %.

Pour les éléments extérieurs, il est conseillé de prendre $C > 100 \text{ pF}$; la valeur de R n'est pas spécifiée.

Les périodes sont données par :

$$T = 4,40 \text{ Rext} \text{ Cext} \text{ pour les sorties sur les broches 10 et 11}$$

$$T' = \frac{T}{2} = 2,20 \text{ Rext} \text{ Cext} \text{ pour la sortie sur la broche 13.}$$

Fonctionnement en monostable

Ce fonctionnement est obtenu en branchant les entrées EA0 à l'état bas et EA1 à l'état haut. Le circuit peut être déclenché par une transition de l'état bas vers l'état haut sur l'entrée TO avec T1 à l'état bas, ou bien par une transition de l'état haut vers l'état bas sur l'entrée T1 lorsque TO est à l'état haut. La période du signal de sortie est déterminée par les éléments extérieurs. Le circuit peut être rédéclenché en appliquant une transition de l'état bas vers l'état haut sur l'entrée I RT et sur l'entrée TO lorsque T1 est à l'état bas. La période est donnée par

$$T = 2,48 \text{ Rext} \text{ Cext}$$

les valeurs pour ces éléments sont

$$10 \text{ K}\Omega \leq R \leq 1 \text{ M}\Omega$$

$$C \geq 1000 \text{ pF}$$

Modes de sélection

Le tableau II.3. a nous donne les différents signaux à appliquer aux broches d'entrée du CD 4047, pour obtenir le fonctionnement désiré.

Entre parenthèses sont donnés les numéros des broches

ENTRÉES						FONCTION
E _{AO} ⁽⁵⁾	E _{A1} ⁽⁴⁾	T _O ⁽⁸⁾	T ₁ ⁽⁶⁾	I _{RT} ⁽¹²⁾	M _{RM} ⁽⁹⁾	
H	X	L	H	L	L	Astable (Libre fonctionnement)
X	L	L	H	L	L	Astable (Libre fonctionnement)
Ω	H	L	H	L	L	Astable (Commande directe par porte)
L	$\bar{\Omega}$	L	H	L	L	Astable (Commande complémentaire par porte)
L	H	F	L	L	L	Monostable (Déclenchement par transition positive)
L	H	H	\bar{F}	L	L	Monostable (Déclenchement par transition négative)
L	H	F	L	F	L	Monostable (Redéclenchable)
X	X	X	X	X	H	RESET

Tab. II.3.a.

H: niveau haut

L: niveau bas

Ω : impulsion positive

$\bar{\Omega}$: impulsion négative

F: transition positive

\bar{F} : transition négative

X: indéterminé

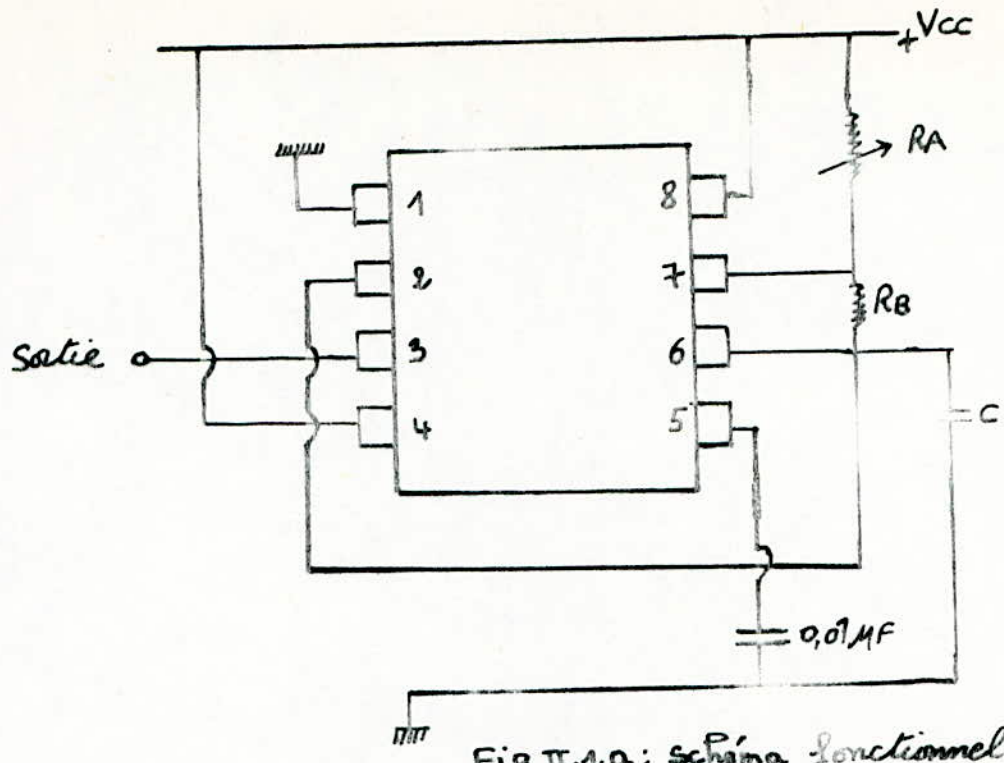


Fig II.1.a: schéma fonctionnel du NE555
(en astable)

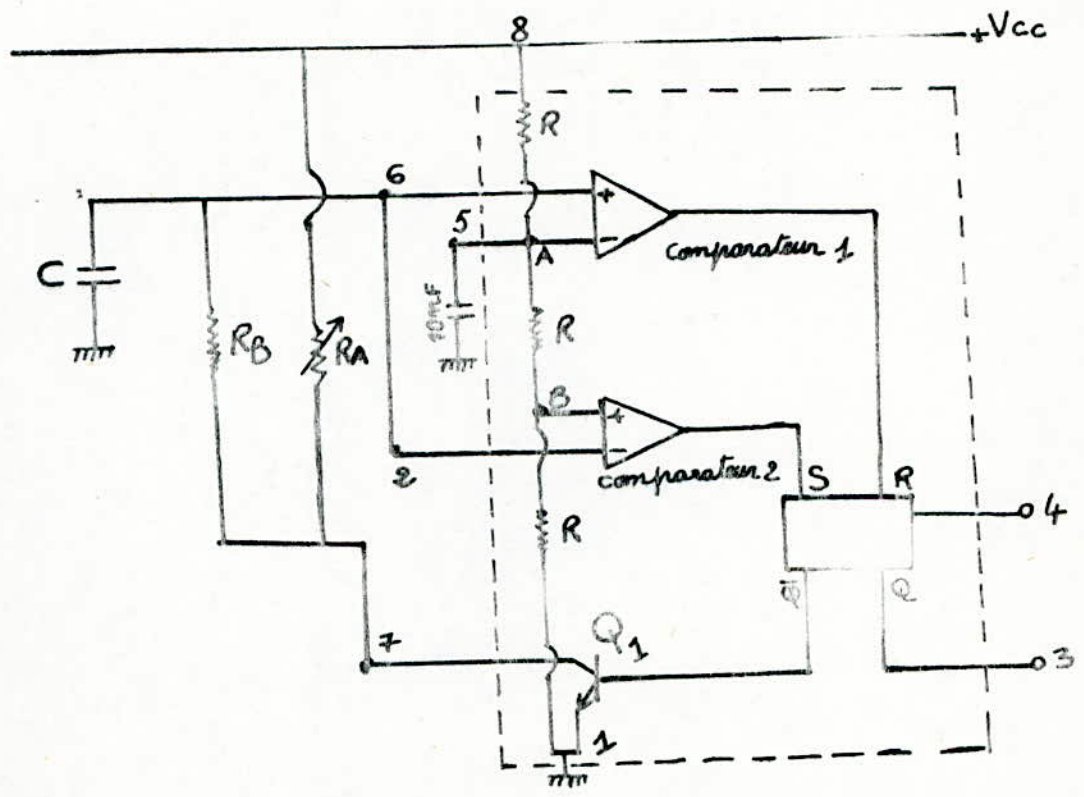


Fig II.1.b: schéma interne du NE555
(en astable)

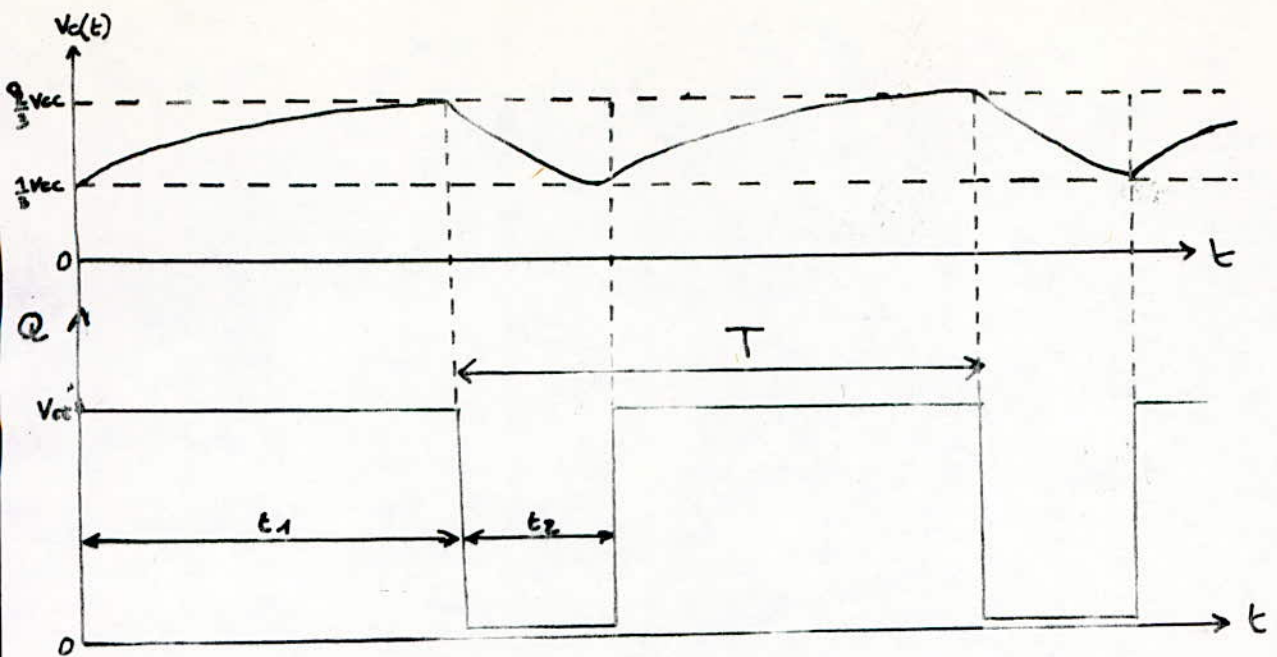


Fig II.1.c : $Q(t)$ et $V_c(t)$

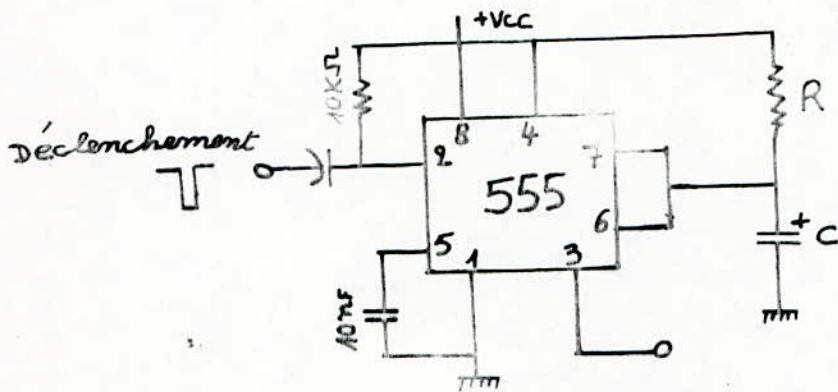


Fig II.2.a : schéma fonctionnel du NE555 (en monostable)

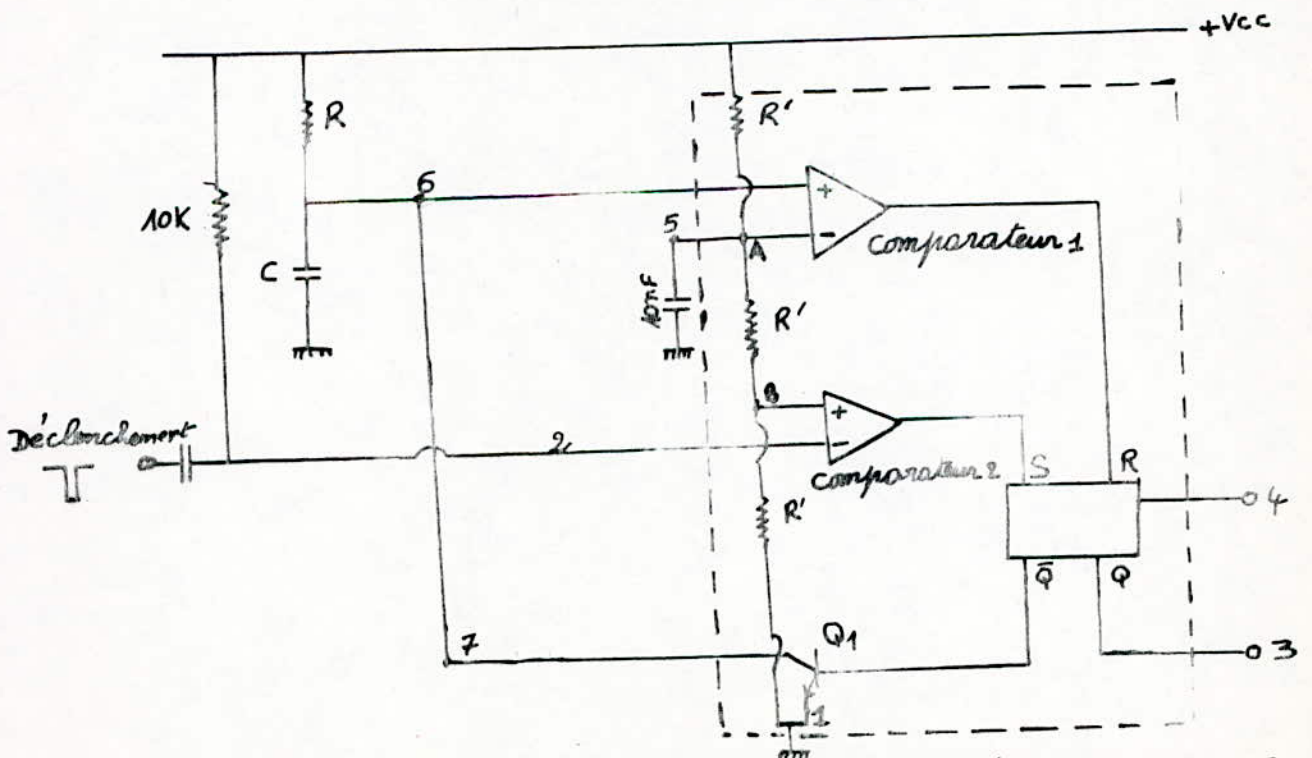
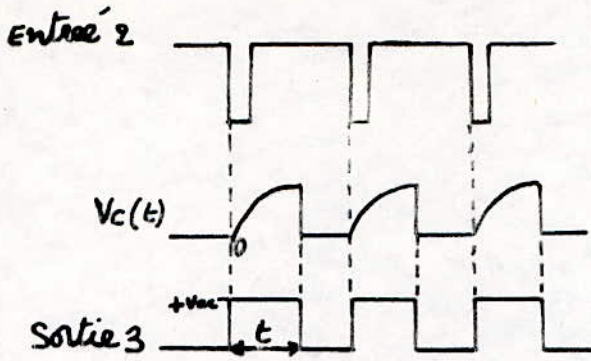
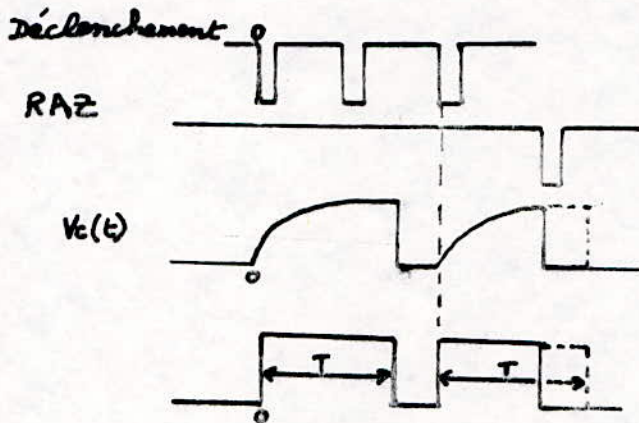


Fig II.2.b : schéma interne du NE555 (en monostable)



FigII.2.c: Déclenchement du monostable
Par l'entrée 2 du NE555



FigII.2.d: Actions d'impulsions sur broche 2
et broche 4 (RAZ)

B / Circuit de simple impulsion : (SP)

Pour generer un signal de simples impulsions de fréquences et de durées variables, on procède de la manière suivante : on déclenche un monostable par un astable. Les fréquences sont données par l'astable

$$(F = \frac{1}{\text{Ln}2 (RA + RB) C} \text{ avec RA et C variables}) \text{ et les durées par le monostable}$$

$$(TM = 1.1RC \text{ avec R et C variables}).$$

Nous utilisons comme astable la moitié d'un circuit intégré NE556 et comme monostable l'autre moitié de ce même circuit intégré. Le schéma de base est donné à la figure II.4.a. Les chronogrammes donnant les sorties des deux multivibrateurs sont donnés par le chronogramme II.4.

D'après le cahier de charge que nous nous sommes fixé nous avons :

a- Fréquence : huit fréquences sont disponibles $F = (0.5, 0.7, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5)$ Hz ainsi que leurs multiples par 10 et par 100.

En fixant RB et C nous aurons huit valeurs pour la résistance RA ensuite en changeant de capacité, en passant de $C1 = C$ à $C2 = 10 C$ et $C3 = 100 C$, les fréquences initiales seront multipliées respectivement par 10 et 100.

b- durées : trois durées sont disponibles $TM = (0.2, 0.5, 1)$ m s. en fixant C, nous aurons trois valeurs pour la résistance R, et en changeant de capacité les durées seront multipliées par 10 et par 100. Nous aurons ainsi 3 valeurs pour la capacité qui sont C, 10C et 100 C.

La figure II.4b donne le schéma électrique pour ce circuit.

Calcul des éléments

Astable 1

La période de l'astable est $T = \text{Ln}2(C (RA + 2RB))$. Les fréquences demandées sont : $(0.5, 0.7, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5)$ Hz X (1, 10, 100).

Nous fixons la valeur de RB à une valeur très faible pour avoir une durée de l'état bas courte. La valeur de C est fixée pour une gamme, nous calculons alors RA pour chacune des fréquences désirées. Les valeurs de RA calculées et normalisées sont groupées dans le tableau II.4.a. Pour changer de gamme, la valeur de C change (dévisée par 10 et par 100)
 $RB = 1\Omega, C = 22\mu F, C = 2,2\mu F, C = 0,22\mu F$

$f(Hz)$	R_A calculée (k Ω)	R_A normalisée (k Ω)
0.5	38.85	39
0.7	28.38	27
1	22.27	22
1.5	10.81	11
2	10.88	11
3	5.55	5,6
4	3.39	3,3
5	13.11	13

Tab II.4a

Nota : les résistances R_A sont mise en serie.

Monostable

Sa période est $T_M = 1.1 RC$.

Les durées demandées sont (0.2, 0.5, 1) ms X (1, 10, 100)

C'est fixée pour uqe gamme; Nous calculons les valeurs de R qui sont groupées dans le tableau II.4b ; pour changer de gamme, la valeur de C change (multipliée par 10 et par 100)

$C = 2,2$ nf, $C = 2$ 2nF, $C = 220$ nf

Duree(ms)	R calculée (k Ω)	R normalisée (k Ω)
0.2	82.75	82
0.5	124.8	120
1	211,22	220

Tab II.4.b

C. / Obtention du train repetitif : TR

Pour obtenir le signal " train repetitif " noté T.R, nous devons utiliser deux signaux différents, l'un est le signal SP, l'autre est issu de l'astable 2. Cet astable est bati autour du circuit intégré CD4047 dont la description a été donnée précédemment. Ce circuit intégré avec l'adjonction d'une résistance et d'une capacité permet de générer un signal carré. Ce signal est multiplié logiquement avec le signal SP a l'aide d'une porte AND (en réalité par deux portes NAND , l'une réalisant la multiplication, l'autre l'inversion).

Description de l'astable 2

La figure II.5.a montre le circuit intégré CD4047 en astable à fréquence variable. En effet en faisant varier les résistances et les capacités, la fréquence varie. Les résistances variables utilisées sont montées en ajustables et permettent ainsi de régler la période d'oscillation de l'astable. Ce réglage n'est en vérité efficace que pour une seule capacité.

Nous disposons de trois sorties :

- Sur la broche I3 : un signal de fréquence F
- Sur les broches IO et II : deux signaux de fréquence $f/2$ et en opposition de phase.

En effet nous avons Q sur la broche 10 et sur la broche 11, ces signaux de sortie, ainsi que le signal SP, sont donnés par le chronogramme II 5.a.

Durées exigées et calcul des éléments

Les durées exigées sont les suivantes

(0.5, 1, 2, 5, 10, 20) S

Pour le calcul des éléments nous utilisons les formules par le constructeur :

$$T = 2,2 RC \quad (\text{broche } 13) \quad \text{et}$$

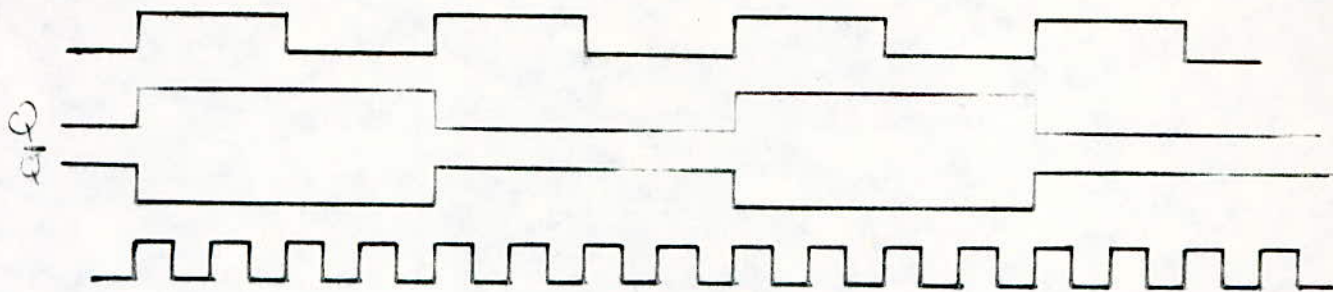
$$T' = 2T = 4.4 RC \quad (\text{broches } 10 \text{ et } 11)$$

Pour le calcul des éléments nous fixons C et calculons R, nous utilisons deux condensateurs l'un de 47nF et l'autre de 470nF. Pour les différents valeurs de la période, nous groupons les valeurs de R. dans le tableau II. 5.

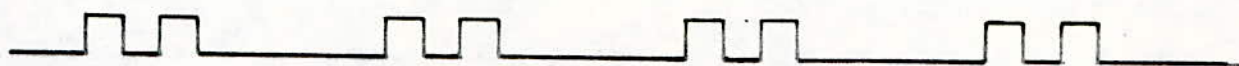
T durée (S)	R calculée (M Ω)	R normalisée (M Ω)
0.5	4.8	4.7
1	9.6	10
2	19.3	15

Tab II.5

Les résistances variables sont choisies de telle façon que nous puissions obtenir les valeurs désirées.



Chr II.5.a : signaux issus de l'astable et du circuit SP



Chr II.5.b : train repetitif (TR)

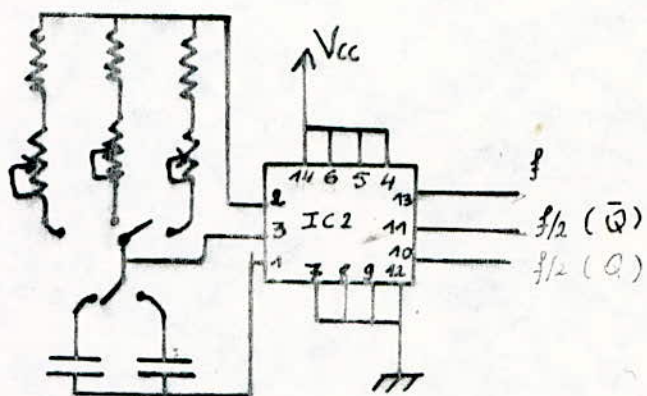


fig II.5.a : montage du CD 4047 en astable à fréquence variable

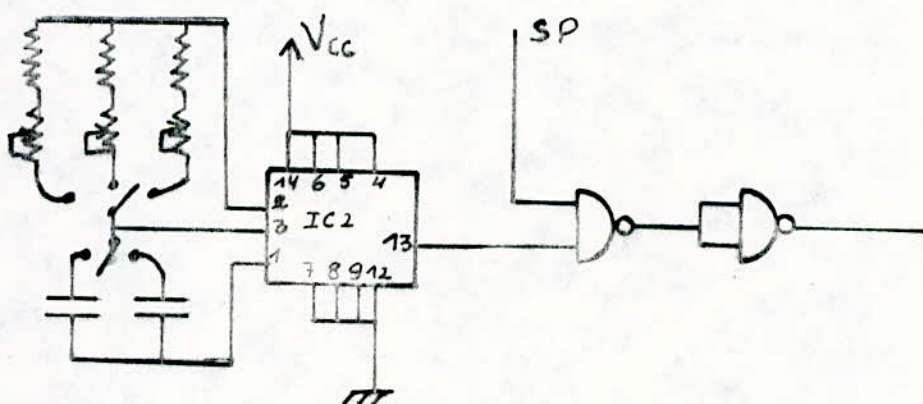


fig II.5.b : obtention du train repetitif

Remarque : Les valeurs des périodes obtenues n'ont pas toujours la précision souhaitée. Cela est dû à l'utilisation de résistances et capacités de faible précision; nous montons alors les résistances en parallèle car si elles étaient montées en série, l'erreur deviendrait plus grande. De plus nous utilisons des résistances ajustables, ce qui nous permet de résoudre partiellement le problème; en effet nous ne pouvons ajuster les valeurs des périodes que pour une seule capacité. Lorsqu'on se place sur une autre capacité, ce réglage n'est plus valable, donc la précision est moins bonne pour cette position.

Quand nous multiplions le signal SP avec le signal issu de la broche 13 du CD 4047, nous obtenons un train d'impulsion qui se répète et dont la forme est donnée par le chronogramme II 5.B. Le signal ainsi obtenu a trois paramètres sur lequel peut agir l'opérateur selon ses besoins. On voit que la multiplication du signal issu de l'astable 2 (broche 13) par le signal SP, permet d'éliminer périodiquement une partie du signal SP.

La figure II 5.b. nous donne le schéma électrique utilisé pour obtenir le signal " train répétitif".

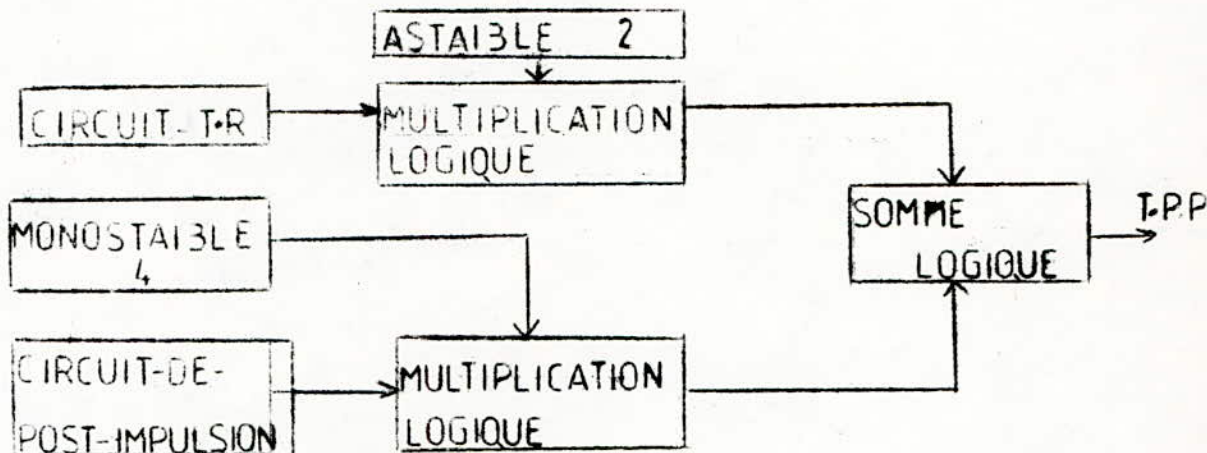
⊙/: Obtention du train d'impulsion suivi et post-impulsion TPP

Il s'agit d'obtenir un train d'impulsion suivi après un temps de repos de deux ou quatre impulsions.

L'obtention de ce signal n'a pas été aisée; il fallait un signal de période T et un autre de période $2T$, d'où la nécessité d'utiliser un diviseur de fréquence et il fallait aussi utiliser un système astable-monostable (l'astable pour le choix des fréquences, le monostable pour le choix des durées). Pour générer des impulsions qui sont dites post-impulsions. Ces impulsions doivent avoir la même durée que ceux du train qui les précède, d'où la nécessité d'utiliser un monostable identique à celui utilisé dans le circuit SP, de plus, il faut que ces deux monostables soient commutés de la même façon; d'où la nécessité d'un commutateur double (2 circuits-3 positions).

Nous avons choisi pour les post-impulsions une durée totale limitée à une seconde. C'est à dire, les post-impulsions (au nombre de quatre au maximum) doivent se produire pendant une durée de un seconde quelque soit la durée choisie pour le train. Cette durée du train est fixée par l'astable 2. Ce choix de la durée des post-impulsions s'est avéré nécessaire pour ne pas compliquer davantage le circuit. Pour obtenir ces post-impulsions nous multiplions par l'intermédiaire d'une porte AND deux signaux: l'un est issu du circuit RT; l'autre est issu du monostable 4 de durée une seconde. Ce monostable est déclenché par les fronts descendants du signal de période $2T$, issu de la broche 10 du CD 4047; ce signal passe à travers un circuit différentiateur de constante de temps adéquate qui nous fournit deux impulsions, l'une positive éliminée à l'aide d'une diode, l'autre négative déclenche le monostable.

Pour obtenir le signal en entier, nous faisons la somme, de deux signaux, l'un que nous avons appelé post-impulsion, l'autre c'est le signal TR obtenu précédemment et multiplié par l'intermédiaire d'une porte AND avec le signal de fréquence $F/2$ (broche 10 du CD 4047) pour éliminer une partie de ce signal que nous remplacerons par les post-impulsions.



Astable 2 - Monostable 3

Ce système (Fig II.6.a) genere des impulsions de durées et de fréquences variables qui sont nécessaire pour la création des post-impulsions.

Astable 2

Il déclenche le monostable, et il déterminé ainsi la fréquence des impulsions de sortie. Il est bati autour d'un circuit intégré NE 555. Sa fréquence est variable : ici, elle a deux valeurs possibles :

- soit generer deux impulsions par seconde
- soit generer quatre impulsions par seconde

La période sera pour un cas de 0.55 et pour l'autre de 0.255.

Le schéma électrique est donné à la figure II. 6. a.

Calcul des éléments

$$T = 0,69 (RA + 2RB) ; TL = 0,69 C RB, \quad TH = 0,69 (RA+RB)$$

T est la période entière, TL est durée de l'état bas, TH est la durée de l'état haut.

Nous fixons $TL = 0,15 \text{ mS}$ pour les deux cas.

La valeur de C est fixée $C = 220 \text{ nF}$. Nous groupons dans les tableaux II.6.a et II.6.b les valeurs des résistances calculées et normalisées nécessaires pour la réalisation de cet astable.

T (ms)	R_B calculée (k Ω)	R_B normalisée (k Ω)
0,150	0,388	1,000

TAB II-6.a.

T (s)	R_A calculée (M Ω)	R_A normalisée (M Ω)
0,250	1,539	1,600
0,500	3,278	3,000

TAB II-6.b.

Monostable 3

Le monostable 3 est déclenché par l'astable 3. sa durée est variable. Il est identique au monostable du circuit SP et doit être commuté en même temps et sur les mêmes valeurs que lui. Ses éléments extérieurs (résistances et capacités) sont les mêmes que ceux du circuit SP. La réalisation de ce monostable se fait à l'aide d'un circuit intégré NE 555. La figure II.6.a nous donne le schéma électrique du système astable 3 - monostable 3, bâti autour du NE 556, les chronogrammes des signaux obtenus en sortie sont donnés par le chronogramme II. 6.a.

Monostable 4

C'est un monostable dont la durée est fixée et est égale à une seconde. Il est déclenché par le signal issu de la broche 10 du CD 4047 monté en astable. Ce signal passe à travers un circuit dérivateur qui fournit aux fronts de montée et de descente deux impulsions l'une positive, est éliminée par l'intermédiaire d'une diode, l'autre est négative et sert à déclencher ce monostable.

La figure II.6.b nous montre le système de déclenchement et le monostable 4.

Calcul des élémentsCalcul du dérivateur

Pour obtenir à partir d'un signal carré, des impulsions, il faut utiliser un circuit dérivateur, qui doit avoir une constante de temps T , très petite devant la période du signal carré.

La plus faible période du signal carré issu de l'astable 2 est de 0.5 S d'ou.

$$t \ll 0.5 \text{ s} \quad \text{On prend } t = 50 \text{ ms}$$

$$t = R_D C_D = 50 \text{ ms}$$

$$C_D = 470 \text{ nF} \Rightarrow R_D = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{470 \cdot 10^{-9}} = 106 \text{ k}\Omega$$

$$C_D = 470 \text{ nF}$$

$$R_D = 100 \text{ k}\Omega$$

Calcul du monostable 4

Pour un monostable bâti autour d'un NE 555, la période est donné par

$$T = 1,1 R C$$

$$T = 1 \text{ S}$$

$$C = 470 \text{ nF} \text{ à } 10 \%$$

$$R = \frac{1}{1,1 \times 470 \cdot 10^{-9}} = 1,9 \text{ M}\Omega \quad R = 1,8 \text{ M}\Omega$$

Les signaux issus du monostable 4 et du monostable 3 sont multipliés par l'intermédiaire d'une porte AND. Le signal du monostable est un "1" logique pendant une seconde, ensuite il passe à "0" logique jusqu'au prochain front de déclenchement; ainsi il permet d'ouvrir la porte pendant toute la durée de son état haut, donc une seconde, et de la fermer ensuite. Le signal du monostable 3 est une suite d'impulsion qui ne pourront passer à travers la porte que lorsqu'un "1" est appliqué sur l'une des entrées; ainsi nous obtenons deux ou quatre impulsions selon notre choix et au moment opportun. La synchronisation étant assurée par le signal de déclenchement du monostable 4, qui est issu de la broche 10 du CD 4047 (astable 2)

Le chronogramme II. 6b illustre le fonctionnement de ce système et représente les différents signaux de sortie et de déclenchement. Le signal issu du circuit RT est multiplié par le signal issu de la broche 10 du CD 4047 par l'intermédiaire d'une porte logique. Ceci nous permet d'éliminer un train sur deux, ce qui constitue une déviation de fréquence.

Les chronogrammes relatifs aux deux signaux ainsi que celui relatif au produit de la multiplication logique sont données par le chronogramme II.6.c.

Le signal obtenu est sommé avec le signal dit post-impulsion par l'intermédiaire d'une porte logique OR. Le résultat est le troisième signal que nous voulions obtenir et qui est noté T P P (Chr II.6. d.)

Le schéma électrique total pour l'obtention de ce signal est donné à la figure II. 6. C.

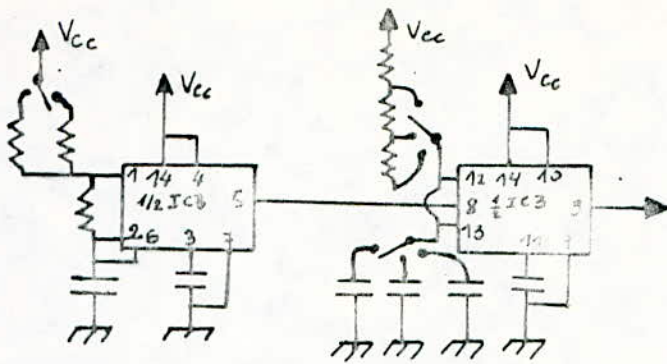


Fig. II6a: astable₃ - monostable₃

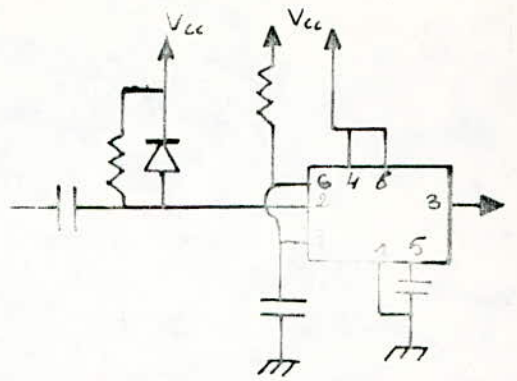
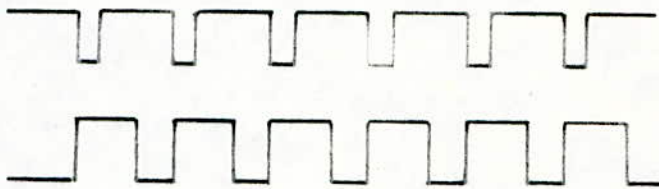


Fig. II6b: deriveur et monostable



Chr. II6a: signaux de déclenchement et de sortie

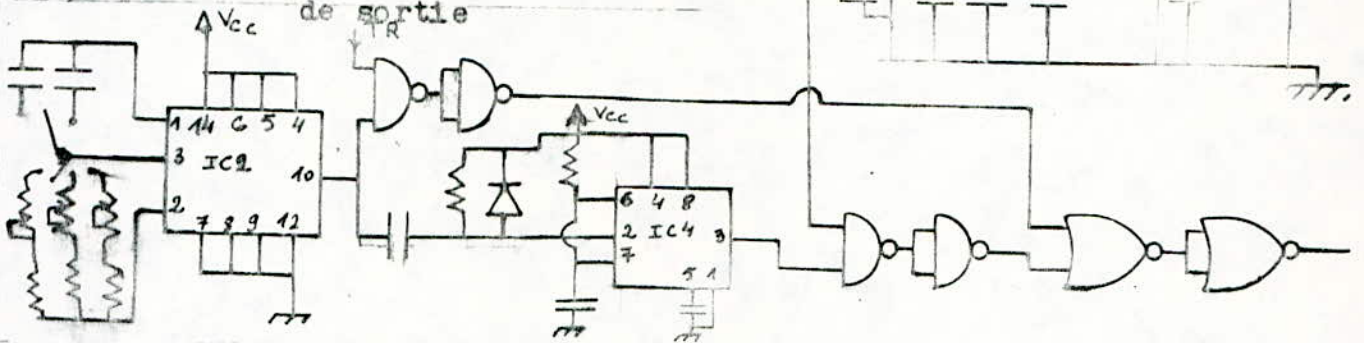
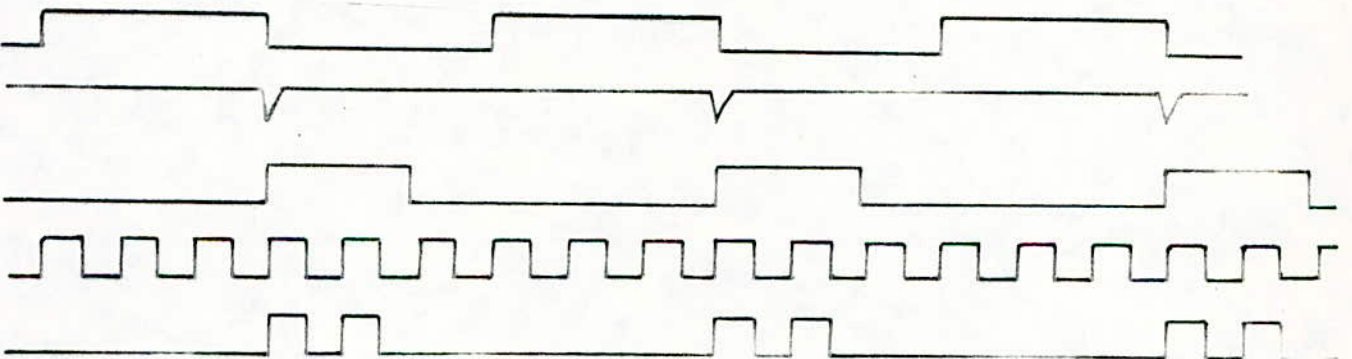
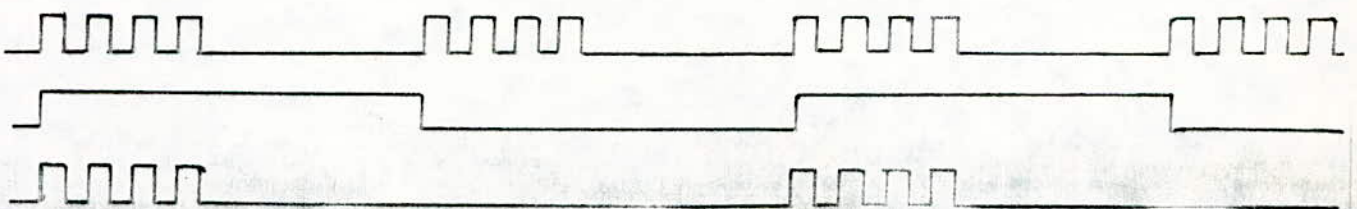


Fig. II6c: schéma global pour l'obtention du signal (tpp)



Chr. II6b: génération du signal de post-impulsions



Chr. II6c: multiplication du signal TR par le signal (f/2)



Chr. II6d: obtention finale du signal (tpp)

E) COMMANDE EXTERNE :

Pour augmenter la maniabilité de l'appareil et offrir le plus de possibilités à l'utilisateur , nous prévoyons deux modes de déclenchement extérieurs à l'appareil .

a) COMMANDE MANUELLE

Elle permet de déclencher l'appareil avec la main (ou le doigt) à l'aide d'un bouton poussoir . Ceci permet à l'utilisateur à se libérer du rythme imposé par le déclenchement interne . Ainsi l'utilisateur impose la fréquence du signal de sortie , quand à la durée de l'impulsion de sortie elle reste toujours commandée par les commutateurs .

PRINCIPE

Un bouton poussoir dont l'une de bornes est reliée à la tension d'alimentation V_{cc} fournit des impulsions positives à chaque fois qu'il est poussé , l'autre borne est reliée à un transistor utilisé en régime de commutation , donc en émetteur commun . Lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir , il délivre une impulsion positive. ELLE est inversée par le transistor qu'il fournit une impulsion négative , nécessaire pour déclencher le monostable du circuit S P . Un dérivateur adéquat permet d'obtenir une impulsion de durée courte .

La diode élimine les impulsions positives .

La figure II.7. donne le schéma électrique de ce montage .

- calcul des éléments

Q 5 est un transistor de commutation , on choisit un du type 2N 2222 .

à la saturation

$$R_B = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{I_B} \approx \frac{12}{5 \cdot 10^{-3}} \quad R_B = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_u = \frac{V_{cc}}{I_{csat}} = \frac{12}{50 \cdot 10^{-3}} = 480 \Omega \quad R_{u5} = 470 \Omega$$

- Circuit Dérivateur

$$t / \text{constante de temps de ce circuit} \quad t = RC = 5 \text{ ms}$$

$$C \text{ est fixée} \quad C = 470 \text{ nf} \Rightarrow R = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{470 \cdot 10^{-9}} = 106 \text{ K}\Omega$$

$$R = 100 \text{ K}\Omega$$

b) DECLENCHEMENT EXTERNE

En disposant d'un signal externe (constitué d'impulsions positives breves , d' amplitude superieure au égale à 4 V) On peut obtenir en sortie du stimulateur un train d'impulsion . Ce train a une durée fixée par le monostable 2 dont la durée est fixée une fois pour toute à 0,5s . pour réaliser le declenchement externe , on declenche le monostable 2 par des impulsions negatives brèves . Ces impulsions sont obtenus après que le signal externe ait passé dans un commutateur électronique à transistor et dans un circuit derivateur . Le transistor Q 4 etant monté en emetteur commun , il inverse le signal , le derivateur fournit deux impulsions l'une positive et l'autre négative . L'impulsion positive est éliminée par une diode polarisée en direct, l'impulsion negative declenche le monostable 2 . On fait un produit logique du signal issu du monostable 2 par le signal issu du circuit MP, en sortie on obtient une suite d'impulsions . la figure II. 8. le schéma électrique de ce mode .

Ce mode est utile dans la mesure où une pédale fournit le signal externe .

En effet la pédale peut servir comme interrupteur et être actionnée par l'utilisateur ce qui permet à ce dernier d'avoir la liberté de ses mains et de disposer d'un signal au moment qu'il juge nécessaire .

Calcul des éléments

Transistor de commutation et dérivateur

Nous considerons le meme cas que celui du declenchement manuelle le calcul et les éléments sont les mêmes .

Calcul du monostable

Il est bati autour d'un NE 555 la periode est donnée par

$$T = 1,1 RC$$

C'est fixée $C = 470 \text{ nF}$

on calcule $R = 910 \text{ k}\Omega$

F) Circuit de sortie

Tous les composants actifs utilisés sur la carte principale sont alimentés par une tension continue de 12 volts . Le signal de sortie ne dépassera donc pas cette valeur, or pour faire une stimulation cette valeur est inefficace ; il nous faut donc l'amplifier .

De plus ce signal étant impulsionnel , il a seulement deux valeurs qui sont 0 et 12 v et qu'en sortie il nous faut une tension qui soit variable de façon continue , il a été jugé nécessaire et d'utiliser un amplificateur à sortie variable

a) AMPLIFICATEUR

Il est constitué par des transistors fonctionnant en régime de commutation pour donner la tension maximale désirée , suivi d'un transistor monté en suiveur dont la résistance d'émetteur est un potentiomètre , Tous ces transistors sont alimentés par une tension continue de 24 volts .

Les deux premiers transistors fonctionnant en régime de commutation, donc monté en émetteur commun introduisent chacun un déphasage de 180° et puis ils sont monté en cascade la sortie de l'une est reliée à l'entrée de l'autre , il y a compensation du déphasage . La compensation consiste en l'inversion de la phase deux fois . Le troisième transistor monté en suiveur de tension n'introduit pas de déphasage et présente une grande impédance d'entrée et une faible impédance de sortie le schéma électrique est donné à la figure II.9

calcul des elements

transistor Q 1

V_e = signal impulsionnel appliqué en entrée d'amplitude maximale de 12 volts à la saturation

$$V_e = R_B I_{B \text{ sat}} + V_{BE \text{ sat}} \quad R_B I_{B \text{ sat}} \implies R_B = \frac{V_e}{I_{B \text{ sat}}} = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ K}\Omega$$

$$I_{B \text{ sat}} = 5 \text{ m A} \quad R_B = 2,2 \text{ K}\Omega$$

$$I_{c \text{ sat}} = 50 \text{ m A} \quad R_u = \frac{V_{DD} - V_{ce \text{ sat}}}{I_{c \text{ sat}}} = \frac{24}{50} = 480 \Omega$$

$$R_u = 470 \Omega$$

pour transistor Q_2 : a la saturation

$$I_{B2 \text{ sat}} = 2,4 \text{ mA}$$

$$R_{B2} = \frac{V_{DD}}{I_{B \text{ sat}}} = \frac{24}{2,4} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_{u2} = \frac{V_{DD} - V_{\text{secat}}}{I_{\text{csat}}} = \frac{V_{DD}}{I_{\text{csat}}} \quad R_{u2} = 470 \Omega$$

$$I_{\text{csat}} = 50 \text{ mA}$$

Transistor Q_3

Il est monté en suiveur de tension et est polarisé par l'intermédiaire de R_{u2} . Lorsque Q_2 est bloqué, une tension voisine de V_{DD} est appliquée sur la base de Q_3 , le potentiometre P permet de faire varier l'amplitude du signal de sortie. Lorsque Q_2 est saturé son collecteur peut être considéré comme à la masse et ainsi la base de Q_3 est à la masse, le signal de sortie est nul.

Calcul du potentiometre

Q_2 bloqué

$$V_{B3} = V_{BE3} + R I_{e3}$$

$R = R_1 + R_2$: resistance totale du potentiometre

$R_s =$ resistance de charge

$$V_{B3} = V_{BE3} + R_i I_{c3} + R_s I_s$$

$I_s =$ courant de sortie

$$I_{e3} = I_s + I_z$$

$$I_s = \frac{V_{DD} - V_{BE3}}{R_s} = \left(\frac{V_{DD} - V_{BE3}}{R_1 + R_2} \right) R_2$$

$$R_i (1 + R_s) R_s \quad R_1 R_2 + R_1 R_2$$

Le courant de sortie I_s est fonction de la resistance R_s et des resistances R_1 et R_2 du potentiometre qui sont variables.

$$S: R_i = 0 \quad \rightarrow \quad R = R_2$$

$$I_s = \frac{V_{DD} - 0,7}{R_s} \quad : \text{c'est le courant maximal que nous pouvons atteindre}$$

Si $R = 0 \implies I_s = 0$

$$I_s = \frac{(V_{DD} - V_{BE3}) R_2}{R_s R + R_1 R_2}$$

Une étude mathématique montre que cette fonction est croissante sur l'intervalle $(0, R)$ La valeur maximale du courant est atteinte pour

$$R_s = R \text{ et } R_1 = 0 \text{ d'où } I_s = \frac{V_{DD} - V_{BE3}}{R_s}$$

$$R_s = 100 \Omega \text{ donne } I_s \text{ max} : 230 \text{ mA}$$

Il faut que la résistance R_s qui est la résistance de charge elle est équivalente à la résistance du primaire du transformateur d'impulsion ainsi que la résistance totale (secondaire plus charge) ramenée au primaire, R_s doit être voisine de 100Ω .

Dans l'étude de ce stimulateur nous avons opté pour la stimulation par une source de tension ce qui fait que nous disposons en sortie d'une tension réglable en amplitude. Il faut que le courant de stimulation soit efficace sans être nocif. Comme la sortie se fait sur un transformateur élévateur de tension donc abaisseur de courant d'après le choix de R_s le courant I_s max est voisin de 230 mA donc après transformation il devient 23 mA , avec une tension voisine de 200 V Ce qui est toléré par le patient à 100 V ce courant est voisin 10 mA

b) Transformateur d'impulsion :

Pour notre réalisation, il nous faut un transformateur d'impulsion élévateur de tension. L'étude théorique sur le transformateur d'impulsion étant très longue, il est préférable de la mettre en annexe (Annexe 1). Néanmoins on va donner les conditions que nous exigeons du transformateur à utiliser :

- rapport de transformation : $n = 10$

- l'inductance primaire : $L_p > X$

X valeur à déterminer pour optimiser L_p , sachant que comme hypothèse

nous avons :

impulsions positives dont :

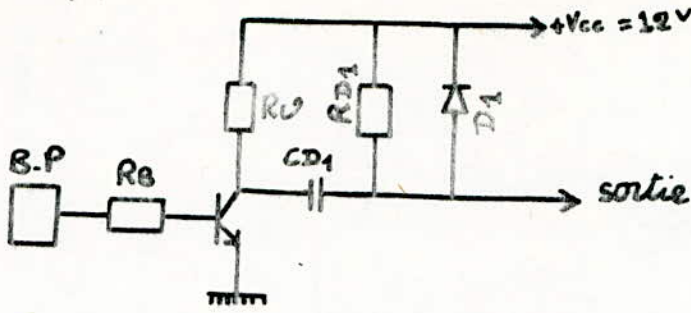


Fig II.7: Déclenchement manuel.

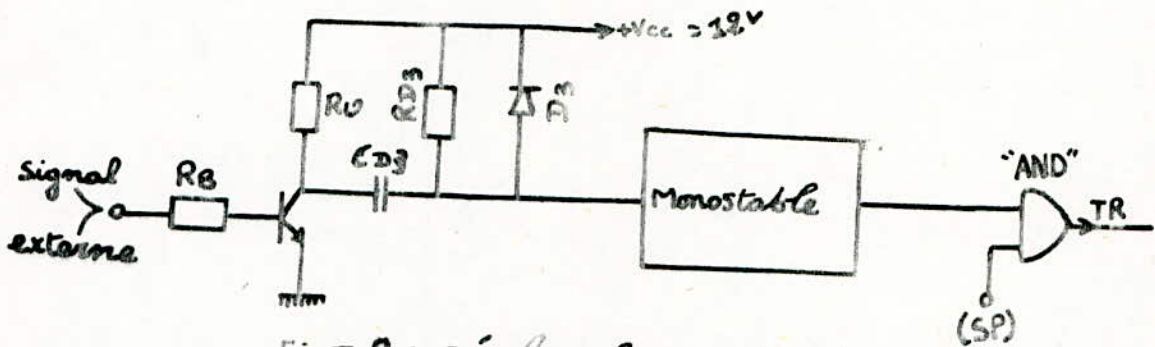


Fig II.8: Déclenchement externe.

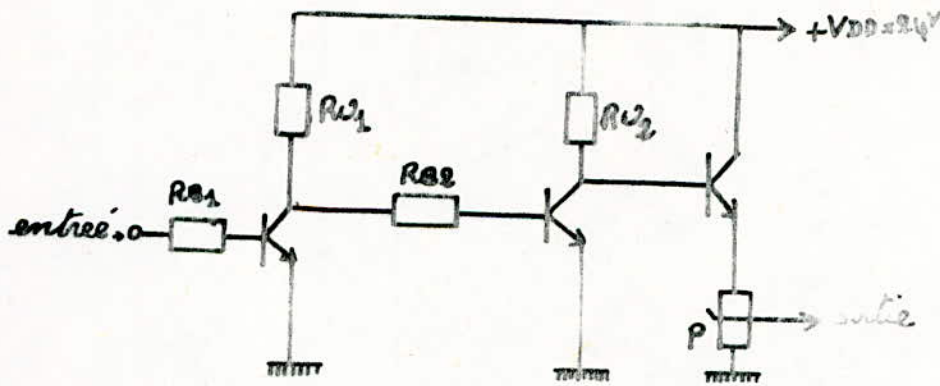


Fig II.9: Etage d'amplification.

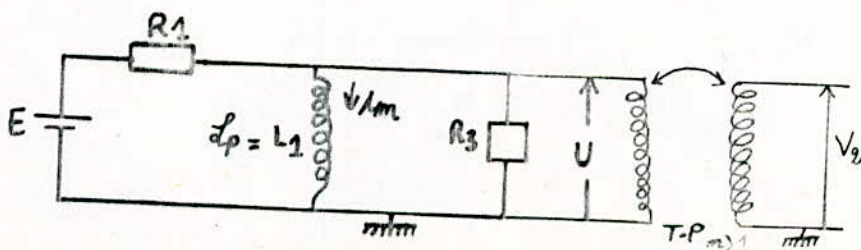


Fig II.10: Transformateur d'impulsion éleveur de tension ramené au primaire: (plat d'impulsion).

- * les durées sont bornées : $T_{\min} = 0,2 \text{ ms}$ et $T_{\max} = 100 \text{ ms}$
- * les fréquences sont basses : ($f_{\min} = 0,5 \text{ Hz}$ et $f_{\max} = 500 \text{ Hz}$)

- Optimisation de l'inductance primaire l_p du transformateur d'impulsion à utiliser (techniques de l'ingénieur "tome 2" (composantes électroniques)).

Dans un transformateur convervable l_p doit être aussi grande que possible (Annexe 1). Mais on est limité dans cette voie par le prix du transformateur, la perméabilité et les dimensions du noyau. C'est pour ces raisons qu'on doit optimiser l_p ; c'est à dire, on détermine l'inductance x tel que $l_p \gg x$.

Durant le plat de l'impulsion (annexe 1), le schéma du transformateur se réduit au schéma de la figure I.10 où les différents éléments sont :

- R_1 : résistance de la source : (très grande devant celle de l'enroulement primaire)
- R_3 : résistance de la charge ramenée au primaire : (très grande devant celle du secondaire ramené au primaire)
- τ : durée d'impulsion
- U : tension au borne de R_3
- E : amplitude du signal rectangulaire fourni par la source

on a :

$$U = R_3 I_2$$

$$I_2 = I_1 - l_p$$

or :

$$l_p \frac{dI_1(t)}{dt} = E \quad \text{et} \quad I_1 = \frac{E - U}{R_1}$$

donc :

$$U = \frac{E R_3}{(R_1 + R_2)} \times \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_2) l_p}}$$

or en général, on prend $\frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_2) l_p} \ll 1$

Comme $\frac{1}{1+x} \approx e^{-x}$ si $x > 0$ et $x \ll 1$

$$\text{d'où : } U = \frac{E R_3}{R_1 + R_3} \exp. \left(- \frac{1}{l_p} \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} t \right)$$

Soit U_0 la tension qu'on obtiendrait aux bornes de la charge avec un transformateur idéal, sans perte d'insertion, à partir d'un signal rectangulaire d'amplitude E , fournie par la source.

$$\text{Donc, dans ce cas : } l_p \approx 0 \quad \text{et} \quad U_0 = \frac{E R_3}{R_1 + R_3}$$

$$\text{d'où : } U = U_0 \exp. \left(- \frac{1}{l_p} \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} t \right)$$

soit : $|\Delta U_1| = |U_1 - U_0|$: chute de tension au bout d'impulsion de durée τ

$$U_1 = U_0 \exp. \left(- \frac{1}{l_p} \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \tau \right)$$

d'où : $\frac{\Delta U_1}{U_0} = 1 - \exp. \left(- \frac{1}{l_p} \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_3)} \tau \right)$; $\frac{\Delta U_1}{U_0}$ est exprimée en pourcentage.

$$\text{On prend en général : } \frac{\Delta U_1}{U_0} < 7\%$$

$$\text{d'où : } l_p \approx K \tau (R_1 // R) \quad \text{avec} \quad K = 13,80$$

Par ailleurs $R_3 = \frac{\text{Recharge}}{m^2}$, où m est le rapport de transformation, on sait que :

$$m = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{avec : } n_2 : \text{ nombre de spires au secondaire}$$

$$n_1 : \text{ nombre de spires au primaire}$$

R_1 est dans notre montage, la résistance de sortie avant l'application du transformateur d'impulsion.

En se référant à une norme donnée (exemple des normes CCTU concernant le FA 35 AD 51), on aura les caractéristiques suivantes :

μ_i : perméabilité effective, donnée en fonction de la durée d'impulsion τ

S_f : section réelle en cm^2 du circuit magnétique

L_f : ligne de force moyenne du circuit magnétique exprimée en cm

e : épaisseur en cm de l'entrefer.

En prenant n_1 comme nombre de spires du primaire, on peut calculer la valeur exacte de l_p qui est donnée par la formule suivante :

$$l_p = \frac{4 \pi}{10} n_1^2 \frac{S_f}{L_f} \frac{u_i}{1 + (e/L_f)u_i} \cdot 10^{-8} \text{ (Henry).}$$

Remarque :

Pour le bon fonctionnement du transformateur l_p doit être prise aussi grande que possible; or $l_p > K \tau (R_1//R_3)$ avec K et $(R_1//R_3)$.

Constantes et τ variable. Mais pour optimiser l_p , on tient compte seulement des durées d'impulsions inférieures à 1 ms (applications des courants faradiques) car pour les durées supérieures à *1 ms (applications des courants galvaniques); ces durées sont suffisamment grandes pour avoir une réponse d'excitation. Donc, pour que l'inégalité précédente soit vraie, il suffit quelle le soit pour $\tau_m = 1$ ms.

Exemple d'application :

Sachant que $\tau_m = 1$ ms; $K = 13,80$

Si $R_1 = 200 \underline{\Omega}$ et recharge = 2,6 Ku ce qui entraîne : $R_3 = \frac{2,6 K R_1}{10^2}$

d'où : $R_3 = 26 \underline{\Omega}$

d'où : $(R_1//R_3) = 23 \underline{\Omega}$ ce qui entraîne : $K (R_1//R_3) \tau_m = 317,4$ ms

donc : $x = 317,4$ mH tel que l'on ait $l_p > x$.

La constante de temps τ_2 13,8 ms \gg 1 ms.

La chute de tension en pourcentage à la fin d'impulsion de durée : $\tau = 100$ ms serait donc :

$$\frac{\Delta U}{U_0} = 1 - \exp. \left(- \frac{1}{317,4} \cdot 23 \times 100 \right); \frac{\Delta U}{U_0} < 99 \%$$

Si par exemple $l_p = 1$ H; cette chute de tension serait :

$$\frac{\Delta U}{U_0} = 1 - \exp. \left(- \frac{23}{1} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \right); \frac{\Delta U}{U_0} = 99 \%$$

C) Temps d'ouverture

Role et Nécessité

C'est un dispositif qui commande l'ouverture et la fermeture du circuit de sortie. Ainsi bien que l'appareil soit sous tension ou peut obtenir ou non un signal de sortie. De cette façon on peut contrôler le nombre des impulsions de sortie. Ce contrôle peut s'avérer nécessaire si le nombre de stimulations en sortie est élevé et si leur période est courte. L'utilisateur même s'il a un indicateur lumineux (voyant ou LED) ne peut s'avoir exactement le nombre d'impulsions qu'il a envoyé sur le patient.

La mise en oeuvre de ce dispositif nécessite une excellente synchronisation entre le signal qu'il délivre (donc l'ouverture du circuit de sortie) et le signal util (SP, TR ou TPP). En l'absence de cette synchronisation il y a risque que le signal de sortie soit altéré ou purement éliminé.

Un stimulateur n'étant jamais utilisé seul il faut toujours lui associer un système de direction et d'enregistrement et visualisation de la réponse.

A l'aide du système de visualisation qui est déclenché en même temps que le stimulus on peut voir la réponse et de la arrêter la stimulation dès que l'on a une réponse satisfaisante ainsi la visualisation réduit la nécessité d'utiliser un dispositif pour le temps d'ouverture.

d) ETAGE DE COMMANDE

Le stimulateur génère des signaux de formes différentes et de trois manières .

- Declenchement interne : des la mise sous tension les trois signaux SP TR et TPP sont disponibles (au choix) .
- Declenchement par signal exterieur : c'est un signal appliqué à une entrée prévue à cet effet qui provoque le declenchement de l'appareil .
- Declenchement manuel : L'operateur en appuyant sur un bouton poussoir envoie des impulsions en sortie .

Nous obtenons donc cinq modes à chacun d'eux correspond un signal .

Les signaux sont notés SP TR TPP DE et DM /

L'operateur a besoin d'utiliser un seul de ces modes à la fois ce qui introduit la nécessité d'avoir un dispositif de selection .

La selection se fait de la manière suivante :

Chacun des signaux générés est multiplié logiquement par l'intermediaire d'une porte AND par un signal issu du dispositif de selection qui peut être un " 1 " ou un 0 . La selection se fait en eliminant tous les signaux sauf un qui sera envoyé à la sortie donc utilisé ? . Le dispositif de selection est formé de 5 boutons poussoirs dont 4 sont interdependants de façon que si l'un est poussé les 3 autres sont relachés . Ces boutons poussoirs sont notés BP1, BP2, BP3, BP4 et correspondent respectivement au signaux TPP, TR, SP et DE . Le bouton BP5 correspond au mode manuel et est independant des 4 autres . Ces boutons ont chacun deux bornes dont l'une est reliée à la tension d'alimentation Vcc l'autre est reliée à la porte correspondant à la selection du mode declenchement externe nécessité d'utilisation d'une porte ayant trois entrées . La premiere entrée est reliée à BP 4 la seconde est reliée à la sortie monostable 5 (figure II.8) . La troisieme est reliée à la sortie du circuit SP .

En appuyant sur le bouton poussoir BP 4 la première entrée est à "1".
 Lorsque le monostable est déclenché il met à "1" la seconde entrée.
 Ainsi les deux entrées étant à "1" le signal présent sur la troisième est
 disponible en sortie.

Le mode manuel est sélectionné à partir du commutateur K 1 du circuit SP (FIG III).
 Ce commutateur à 6 positions dont 5 servent à choisir la fréquence de stimulation
 (nombre d'impulsions / seconde) la 6^{ème} est réservée au mode manuel.
 L'entrée principale du commutateur est reliée à Vcc (FIG III).

La sélection du mode manuel mettra hors circuit l'astable 1 du circuit SP et
 mettra à un niveau haut l'une des entrées de la porte correspondant à ce mode.
 A chacun des boutons poussoirs du dispositif de sélection correspondant une
 porte AND donc une sortie, comme nous ne disposons que d'un seul circuit
 d'amplification et d'une seule sortie, les signaux issus des portes AND seront
 sommés logiquement par une porte OR. La sélection consiste à éliminer 4
 signaux utiles parmi les 5 disponibles et à garder un seul signal choisi par
 l'opérateur. L'addition logique ne perturbera pas les caractéristiques du
 signal choisi et il n'y a pas de risque de chevauchement de deux signaux
 différents. La figure II.11 donne le schéma électrique du circuit de sélection.

G) ALIMENTATION

Pour le fonctionnement de notre appareil il nous faut l'alimenter en tension continue . Les circuits intégrés utilisés peuvent être alimentés dans une plage de 5 à 15 V (circuits logiques en technologie CMOS et circuit bipolaire cas du NE 555) tous ces circuits seront alimentés sous une tension continue de 12 V Pour l'amplificateur de l'étage de sortie il nécessite une alimentation de 24 V pour fournir une amplitude suffisante au signal de sortie avant qu'il n'attaque le transformateur d'impulsion .

L'alimentation est du type classique un transformateur abaisseur transforme le 220 V du secteur en une tension de 25 V suivi par un pont redresseur qui fournit un signal double alternance . La tension redressée est filtrée par une capacité de forte valeur . Un régulateur intégré se charge de la régulation finale de la tension, ensuite un condensateur de faible valeur se charge d'éliminer une éventuelle fluctuation de la tension du secteur et de tout autre parasite apparu en sortie . Nous avons besoin de deux tensions en sortie l'une de 12 volts et l'autre de 24 V pour cela nous utilisons deux régulateurs qui fournissent ces deux tensions l'une est le 7824 pour le 24 V et l'autre est le 2812 pour le 12 V . La capacité de filtrage à pour valeur $C = 2200 \mu F$ Les capacités de sorties ont une valeur de 150 μF chacune . Le redressement utilisé un pont moulé le B40 C 1500, la figure II.12 nous donne le montage de cette alimentation .

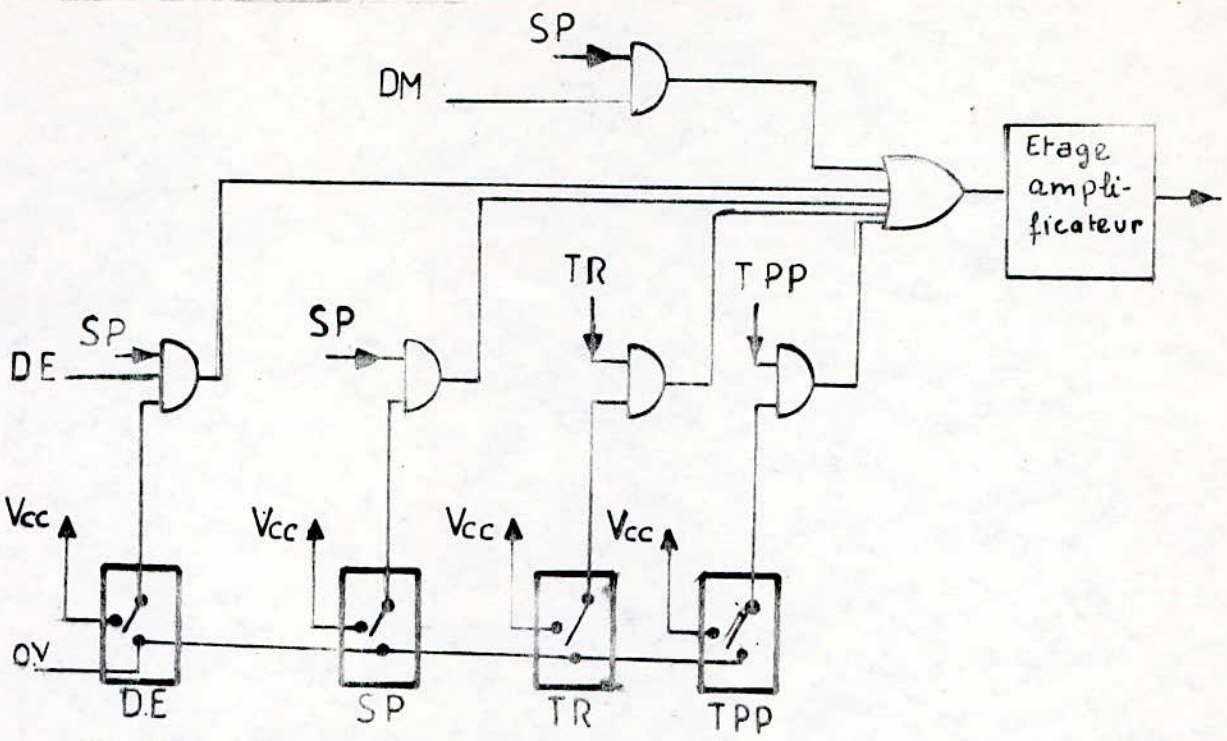


Fig.II11:étage de commande

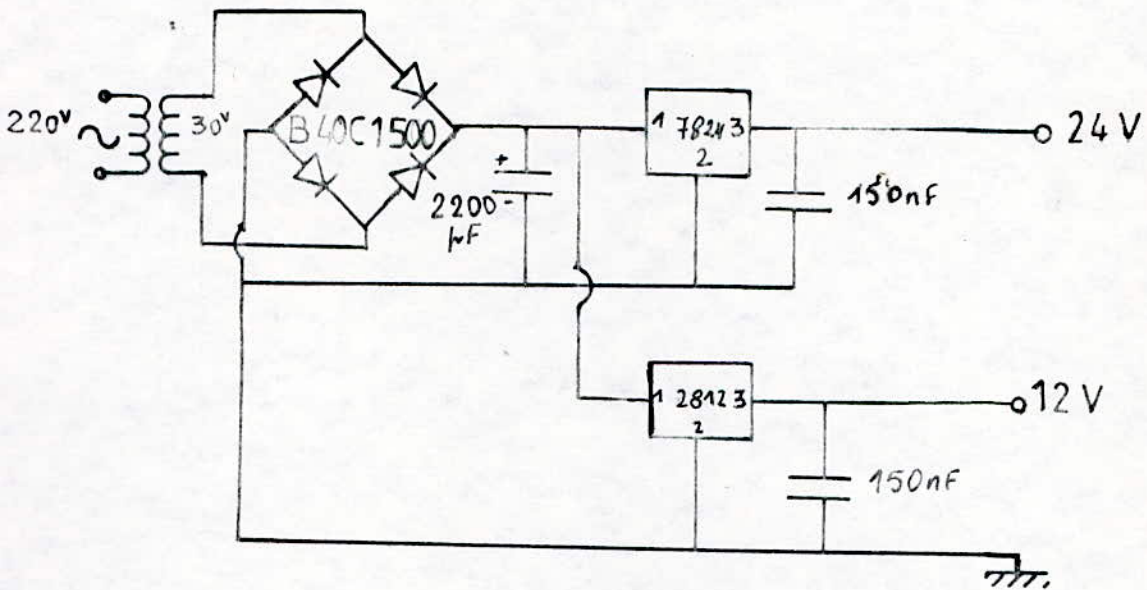


Fig.II12:schéma de l'alimentation

CHAPITRE III

RÉALISATION DU STIMULATEUR

CHAPITRE III REALISATION

Dans ce chapitre nous aborderons la réalisation pratique de l'appareil. En premier lieu nous parlerons du circuit imprimé et de sa réalisation. Un paragraphe sera réservé pour les problèmes rencontrés et les modifications qu'ils ont introduites dans le montage initial tel que présenté dans le chapitre II. Nous terminerons ce chapitre par des essais et tests effectués sur le stimulateur réalisé ; et par présenter les éventuelles améliorations à apporter.

Circuit Imprimé

Pour réduire les dimensions de l'appareil nous avons devisé la réalisation du circuit imprimé en deux cartes.

- L'une comportant les différents circuits générateurs d'impulsion ainsi que l'alimentation stabilisée (sauf le transformateur qui est fixé au boîtier)
- L'autre regroupant les différents modes de commandes, l'amplification, ainsi que la sortie qui sera connectée au transformateur d'impulsion ;

Circuit SP

L'absence de commutateur de plus de 6 positions nous a contraint à ne garder que 5 fréquences différents de stimulation la 6ème position est réservée au mode manuelle.

Nous utilisons un circuit intégré NE 556 au lieu de deux NE 555.

Circuit TR et circuit TPP.

La tolérance sur les composants passifs étant grande nous avons remplacé certaines valeurs calculés par d'autres donnant de meilleurs résultats (remplacement sur le monostable 4 de la résistance de 1.8 M Ω par une autre marquée à 1.5 M Ω).

Logique de commande

L'indisponibilité de portes logiques AND nous a poussés à les remplacer par des portes NAND, le résultat a été un nombre plus important de circuit intégrés utilisés d'où plus d'encombrement.

Commande manuelle.

Pour la réalisation de cette partie, nous avons rencontré un problème qui consiste en l'inefficacité de ce montage, en effet, nous n'arrivons pas à déclencher le monostable, cela est dû au fait que l'astable 1 de déclenchement du circuit SP, celui qui impose les fréquences, reste toujours relié au monostable.

Cet astable étant alimenté la capacité se charge, et ne se décharge plus, R_a ayant l'une de ces bornes en l'air, alors en sortie, nous avons un niveau haut. Ce niveau est appliqué à l'entrée de déclenchement du monostable lorsque vient l'impulsion négative de déclenchement, elle n'a aucun effet.

Pour remédier à cet état des choses, nous avons pensé à mettre la capacité / C_{11} ; C_{12} ; C_{13} / sur la figure III) utilisé dans l'astable 1 du circuit SP, à la masse, ainsi la sortie de cet astable est à un niveau bas. C'est une solution, Pour la mettre en oeuvre, il nous faut relier cette capacité à la masse seulement lorsque le mode "Commande manuelle" est choisi. Il nous faut utiliser un commutateur à deux circuits et plusieurs positions. C'est un commutateur qui a deux parties dont les liaisons électriques sont indépendantes, mais dont la position est fixée à l'aide d'une seule tige pour les deux parties.

Pour une des parties, elle sert à choisir les fréquences et une dernière position est utilisée pour indiquer le mode "commande manuelle", la position correspondante à celle-ci dans la seconde partie sera reliée à la capacité (C_{11} , C_{12} , C_{13}) de l'astable 1 du circuit SP et la position centrale sera reliée à la masse. lorsque le mode "commande manuelle" est choisi automatiquement la capacité (C_{11} , C_{12} , C_{13}) sera à la masse. Ainsi le déclenchement sera effectif.

La réalisation pratique du dispositif du temps d'ouverture, nous a posé beaucoup de problèmes, qui nous ont contraints à l'éliminer et le remplacer par un bouton marche-arrêt qui bien qu'il ne résolve pas en entier le problème initial qui est de connaître le nombre exact de stimulus envoyés nous permet de réduire la rigidité d'utilisation de l'appareil.

En effet les contraintes pour la réalisation du dispositif du temps d'ouverture sont :

- il faut qu'il délivre des signaux synchronisés avec SP, et TPP.
- ces signaux doivent avoir les mêmes périodes que SP, les signaux SP, TR et TPP, qui sont variables en fréquence et en durées, d'où la nécessité d'utiliser plusieurs commutateurs supplémentaires, cela rendrait l'appareil moins maniable.

L'utilisation du bouton-poussoir (M;A), nous permet de dire qu'associé à un système de visualisation, un stimulateur peut se passer d'un tel dispositif surtout si l'on veut garder à l'appareil une certaine souplesse d'utilisation. Car le stimulateur étant destiné à aider le médecin ne doit pas lui compliquer la tâche en lui proposant beaucoup de boutons de commande qui dépendent mutuellement les uns des autres.

Améliorations.

Le stimulateur présenté dans cette étude n'est pas complet. À la fin de notre étude, nous nous sommes rendus compte d'un certain nombre de lacunes que nous ne pouvions pas combler pour différentes raisons.

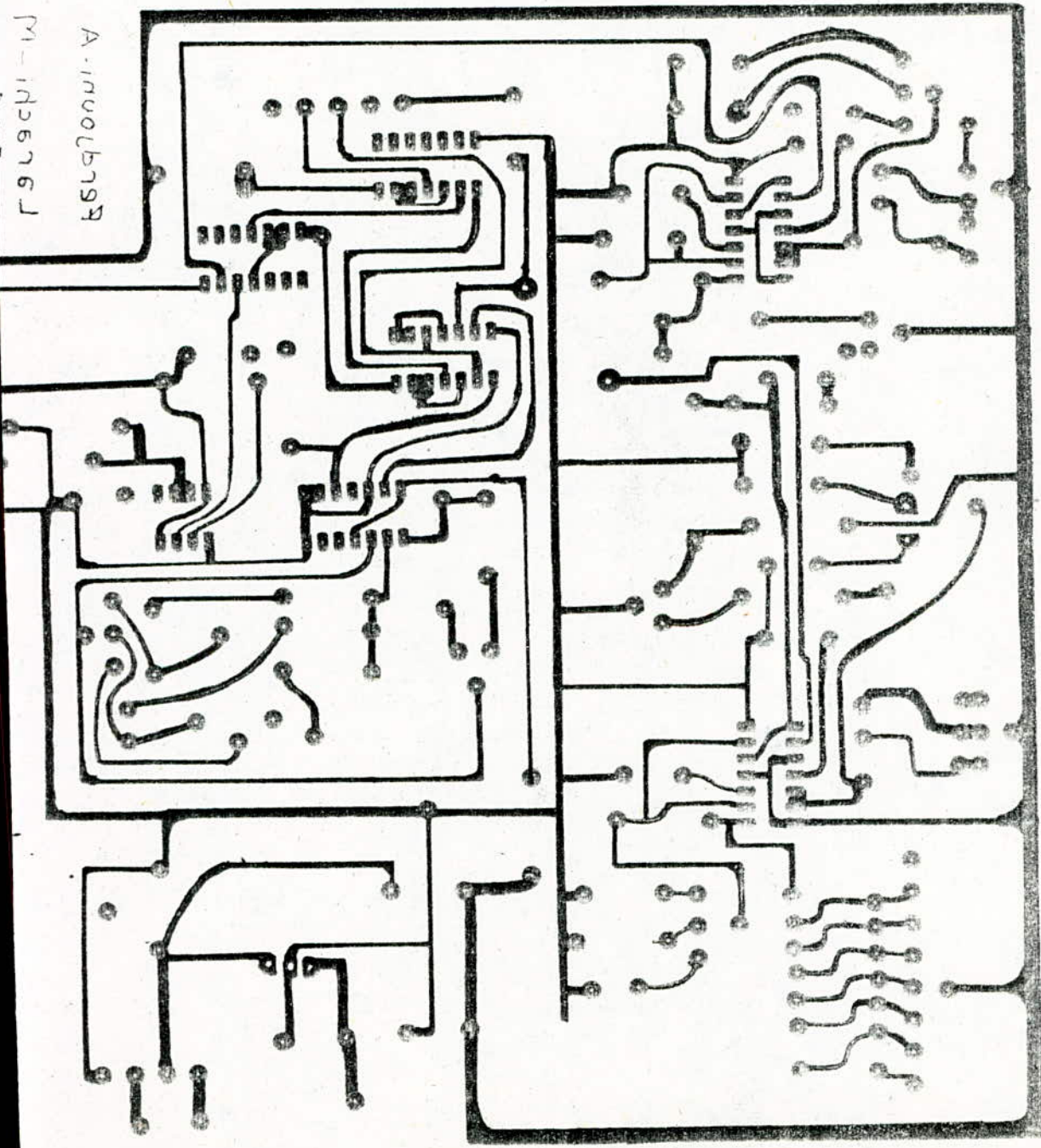
Nous exposons dans ce paragraphe quelques améliorations qu'une étude future peut apporter à ce travail.

La réalisation de l'astable 1 du circuit SP a été faite avec un circuit intégré NE 556 et des composants passifs. Il nous semble que l'utilisation d'un quartz comme oscillateur et des compteurs comme diviseurs de fréquence est plus judicieuse, car la précision augmente beaucoup. La précision serait améliorée par l'utilisation de composants ayant une faible tolérance (0.5, 1 ou 2 %) Il faudrait aussi prévoir un volt-ampère-mètre pour connaître la tension et le courant de stimulation. L'amplificateur du circuit de sortie peut être amélioré aussi de façon à obtenir une stabilisation du courant de sortie. L'amélioration des deux modes :

déclenchement manuel et déclenchement par signal externe est souhaitable en étendant leurs effets aux trois types de signaux générés.

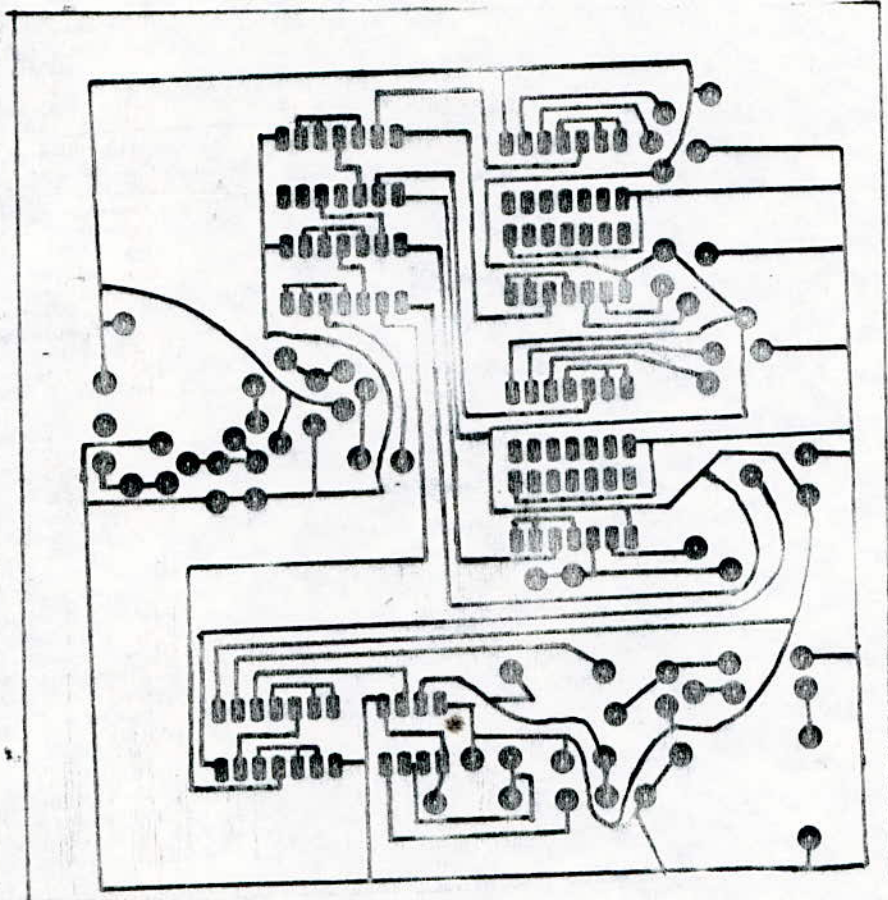
M-142676J

A-11006799



12.5 x 12.5

serious star



CONCLUSION

CONCLUSION :

Nous espérons par ce présent travail, avoir donné une idée bien précise sur l'E.M.G, ainsi que son importance, car dans notre école, le manque évident de la documentation sur ce sujet nous a contraint à détailler un peu plus la théorie sur l'E.M.G afin que les étudiants désireux de s'initier dans ce domaine puissent y trouver les informations recherchées.

La réalisation du stimulateur nous a surtout permis de voir tous les problèmes que pose une réalisation pratique qui dans bien des cas ne suit pas l'étude théorique.

Le stimulateur que nous avons conçu, en vue de sa simplicité, présente des performances acceptables. On doit néanmoins considérer la stabilité qui peut être améliorée en utilisant des quartz ainsi que la précision de l'appareil qui peut être meilleure en utilisant des capacités et des résistances de très bonnes précisions.

Les réalisations de notre dispositif ainsi que celui concernant la détection d'E.M.G proposé ce semestre ne rendent ensemble évidente l'utilité de l'E.M.G que s'il y a présence d'électrodes de stimulation et de détection. De même que la procédure à des enregistrements d'E.M.G pour traitement sur ordinateur est souhaitable car elle permet d'aider le médecin à effectuer des dépouillements d'E.M.G par ordinateur.

ANNEXE

A N N E X E 1- TRANSFORMATEUR - D'impulsion :1) Utilisation du transformateur d'impulsion :

Comme son nom l'indique il doit transmettre correctement des impulsions (fronts et plat).

* Le transformateur^{est} utilise par exemple :

- Comme circuit d'entrée des amplificateurs de signaux sortants des capteurs (memcoires, photo-multiplicateur...)

- Comme élément d'adaptation entre un étage de sortie et une ligne ou cable de liaison.

- Comme élément dans les modulateurs d'impulsion (éméteur de radar,...)

2) Schéma Equivalent complet du transformateur d'impulsion.

(fig.1.).

$L'_1 = KL_1$: inductance propre du bobinage primaire.

$L'_2 = KL_2$: inductance propre du bobinage secondaire.

K : Coefficient de couplage.

C_1 et C_2 : Capacités parasites respectivement du primaire et du secondaire.

C_m : Capacité de couplage repartie entre les enroulements;

(elle disparaît dans le cas d'un transformateur à écran; car elle est remplacée par deux capacités A-écran; B écran qui viennent s'ajouter respectivement à C_1 et C_2): fig.2.

r_f : perte par courant de foucault dans le noyau

r_h : perte par hystérisis dans le noyau.

R'_1 et R'_2 : résistances respectivement du primaire et du secondaire sans charge.

l_1 et l_2 : pertes du noyau magnétique (hystérisis + courant foucault) respectivement du primaire et secondaire : inductances de fuite

$$m = \frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{i_1}{i_2}$$

m : rapport de transformation

V_1 ; V_2 : respectivement tension d'entrée et de sortie.

n_1 ; n_2 : respectivement nombre de spires au primaire et nombre de spires au secondaire.

i_1 ; i_2 : respectivement courant du primaire et du secondaire.

3) Transformation élévateur de tension ; ($m > 1$), : (T.E.T)

c'est un transformateur à écran, donc on néglige la capacité c_m de couplage entre les enroulements primaire et secondaire.

Le schéma de la fig.1. se simplifie donc en une représentation plus simple (voir fig.3.), avec $R_2 = R_2' + R_{ch}$ et $R_m = r_h // r_t$.

En ramenant les impédances au primaire de la fig.3. on aura la représentation schématisée par la fig.5 avec T.P.; (transformateur parfait)
Or le primaire a moins de spires que le secondaire ($m > 1$), la plus forte capacité parasite est donc au secondaire ($C_1 < C_2$); comme le rapport de transformation m est supérieur à 1 on a : $C_1 \ll m^2 C_2$. Ceci permet de ne considérer qu'une seule capacité parasite sur le schéma de la fig. 4. et on aura le schéma représenté par la fig.4.

Supposons que les pertes du noyau sont négligeables ($R_m = \infty$: noyau en ferrite) le coefficient de couplage k est supposé égal à 1 (transformateur sans pertes ni fuite), ceci conduit au schéma (transformateur élévateur) représenté par la fig.6. avec $\gamma = m^2 C_2$

(4) Phase d'établissement, front avant de l'impulsion.

En général on a $L_1 \gg l_1$ et $L_1 \gg \frac{l_2}{m^2}$. Au début du régime transitoire L_1 qui est en parallèle avec γ et R_2/m^2 , s'oppose au passage du courant beaucoup plus que l_1 et l_2/m^2 ; nous pouvons donc ne pas tenir compte durant la phase d'établissement et ceci amène au schéma représenté sur la fig.7. Paramètres fondamentaux sa pulsation propre: $\omega = \frac{f + R_1}{\gamma l_1}$

coefficient d'amortissement: =

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{\gamma R_1 (R_1 + 1)}{[\gamma l_1 f (f + R_1)]^{1/2}}$$

Amélioration du temps de montée :

Si le coefficient γ est tel que : $0,7 < \gamma < 1$, ce qui entraîne un temps de montée faible donc une amélioration du temps de montée.

- par réduction le plus possible des inductances de fuite, ceci en rapprochant le plus possible les bobinages du primaire et du secondaire et en utilisant un matériau magnétique de forte perméabilité en haute fréquence, on amélioré le temps de montée.

La prise en compte des capacités parasites peut conduire à régime oscillatoire, dont on peut se débarrasser, soit en augmentant l'inductance de fuite, soit en amortissant convenablement le transformateur ce qui entraîne une augmentation de peu du temps de montée.

5 - Plat de l'impulsion:

Durant le plat de l'impulsion le transformateur est attaqué par une tension continue. Son schéma équivalent se simplifie, car les capacités parasites et les inductances de fuite n'interviennent plus; en effet v_1 et v_2 varient lentement, ce qu'on vérifie a posteriori (Si V_1 et V_2 varient

lentement, l_1 et l_2 donc l , qui sont en série avec R_1 et δ qui est en parallèle avec L_1 , n'interviennent pas), d'où le schéma représenté sur la fig. 8.

En outre L_1 est traversée par le courant magnétisant i_m qui croit presque linéairement en fonction du temps :

$$i_m = \frac{E}{R'_1} (1 - e^{-t/\tau_2}) \quad \text{avec} \quad \tau_2 = \frac{(R'_1 + \frac{R_2}{m^2})}{R'_1 (\frac{R_2}{m^2})}$$

Dans un transformateur convenable la constante de temps τ_2 est grande devant la durée de l'impulsion et on a :

$$1 - e^{-t/\tau_2} = \frac{t}{\tau_2} \quad \text{et} \quad i_m \approx \left(\frac{E}{R'_1} \cdot \frac{1}{\tau_2} \right) t$$

En fin d'impulsion $t = \theta$, le courant magnétisant atteint la valeur :

$$I_m = \frac{E}{R'_1} \frac{\theta}{\tau_2} \quad : \quad (t = \theta) \quad \text{et} \quad \frac{V_2}{m} = U < E.$$

Il est d'autant plus faible que L_1 est plus grande à cause de τ_2 dans le dénominateur. Comme ce courant doit être fournie par le générateur et que ce dernier a une puissance limitée, on a ainsi une deuxième raison de rendre L_1 la plus grande possible. Mais on est limité dans cette voie par la perméabilité et les dimensions du noyau, par l'encombrement et par le prix du transformateur

Remarque : Si la durée θ de l'impulsion est trop grande, et si des précautions ne sont pas prises, le courant magnétisant peut atteindre une valeur I_m trop élevée. Alors L_1 n'est plus constante, à cause du passage en saturation du matériau magnétique (voir fig.9).

où Région III : $L_1 = \text{constante}$

Région II : L_1 décroît

Région I : $L_1 \neq 0$

6. Fin d'impulsion Temps de descente .Back swing.

Quand l'impulsion cesse, tout se passe comme si on ~~ouvre~~ ouvre, l'interrupteur. Le courant magnétisant ne peut pas passer instantanément à la valeur ~~néo~~ zéro. L'énergie accumulée dans l'inductance L_1 est dissipée au cours du temps de descente et du back swing. Il en est de même pour la charge accumulée dans la capacité. Le schéma équivalent est représenté par la figure.10.

avec Le courant magnétisant dans l'inductance L_1 : I_m
la charge contenue dans la capacité : $q(\theta+) = \chi U$

$$\text{La pulsation propre est : } \omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 \delta}} = \frac{1}{\sqrt{L_1 m^2 C_2}} = \frac{2\pi}{T_3}$$

$$\begin{aligned} \text{Le coefficient d'amortissement est : } \xi &= \frac{1}{2\omega} \frac{1}{\delta} = \frac{1}{2\delta} \sqrt{\frac{L_1}{\delta}} \\ &= \xi = \frac{1}{2\left(\frac{R_2}{m^2}\right) \sqrt{\frac{L_1}{m^2 C_2}}} \end{aligned}$$

Amélioration du temps de descente.

Le temps de descente est d'autant plus petit que le courant magnétisant à la fin de l'impulsion est plus élevé. Ce qui est en contradiction avec celle concernant le plat de l'impulsion, ce qui entraînerait L_1 grand et le courant magnétisant I_m petit.

7. Circuit de suppression du " Back swing.

Le back swing est inévitable, puisqu'il exprime le principe de la conservation de l'énergie. L'énergie emmagasinée, durant l'impulsion dans l'inductance L_1 et la capacité C , doit être dissipée après la fin de l'impulsion. La manière la plus simple de limiter l'énergie du back swing, est de brancher dans un circuit, une diode qui dérive dans sa broche l'énergie de back swing et la dissipe (fig.11.).

8. Choix du noyau.

- On choisit le noyau en ferrite car le problème des pertes est moins complexe pour les ferrites que pour les matériaux métalliques.
- Pour les applications en " petit courant" les ferrites à fortes perméabilités sont préférables.
- Dans les ferrites il y a peu de courants de Foucault et pas d'effet de peau.

Electrodes :

Les moyens de communiquer avec la matière vivante font appel, entre autres, au recueil ou à l'injection de potentiel et cela à l'aide d'électrodes. Celles-ci se présentent sous des formes et avec des structures variées selon le but recherché. Il faut reconnaître que l'électrode est l'un des capteurs les plus anciens que l'on connaisse, c'est peut-être aussi celui qui fournit le plus d'artefacts.

Achellement il existe une très grande variété d'électrodes et cela tient au fait que l'on recherche à recueillir ou à injecter des potentiels de plus en plus faibles au moyen de composants dont l'action est de plus en plus ponctuelle.

La classification des électrodes peut se faire de la manière suivante

- électrodes de stimulation.
- électrodes de recueil
- les microélectrodes.

La différence entre les électrodes de stimulation et de recueil n'est pas très nette dans la mesure où certaines électrodes de stimulation peuvent servir au recueil et inversement. / J. Trémolière, technique de l'ingénieur T4 /

Pour notre travail nous avons besoin d'utiliser des électrodes de stimulation d'où la nécessité de les définir et de les caractériser. Les micro-électrodes n'étant pas utilisées, nous ne ferons que les citer.

Les électrodes de stimulation :

elles servent à injecter un signal de stimulation. Elles doivent répondre à certaines exigences, qui sont de transmettre fidèlement le signal de stimulation, de ne pas altérer les tissus musculaires (éviter la formation d'escharre)

Elles doivent occuper un espace très faible, pour qu'il n'y ait pas de dispersion du signal utile et être aussi peu résistantes que possible.

1) Les electrodes de sur faces.

Elles sont utilisees pour la stimulation de groupes musculaires ou à titre d'electrodes indifférentes. leurs formes sont carrées ou rectangulaire.

2) Les electrodes localisatrices.

Elles servent à la stimulation de muscle ou à l'excitation au niveau du point moteur.

- leur surface est petite

- elles sont constitués par un support métallique recouvert de chamex.

(l'utilisation de l'argent chloruré presente l'avantage d'eviter les phénomènes de polarisation) /J.DUMOULIN et de Bisschop, I les courant excito-moteurs en reeducation fonctionnelle/

le raccord entre l'appareil et l'électrode est de la plus haute importance
Un mauvais contact engendre des secourge musculaires à type de décharges.
Un raccord à la plaque mal fait détermine des variations de denvisa de courant pouvant provoquer une escarre.

le fil de liaison est généralement un cable coexial, le conducteur externe est relie à la masse, il permet d'isoler le conducteur interne vis a vis de tous les parasites (radioelectrique ou autres). le conducteur interne véhicule le signal utile.

Sécurité du patient.

Pour assurer la sécurité du patient il faut connaître les problèmes de stimulation qui peuvent se poser :

- la puissance fournie
- les électrodes.

La puissance fournie :

La puissance fournie est celle fournie par le transformateur. Cette puissance si elle n'est pas limitée, risque d'être nocive pour le patient. En effet sachant que la tension maximum que peut délivrer notre transformateur d'impulsion est de 240 V; ($m = 10$): (c'est à dire dans le cas ou il y aura un maximum de surtension); alors si par exemple la résistance d'entrée de l'électrode est inférieure à 1Kr ceci entrainera un courant de sortie énorme (de l'ordre de 240 mA. Donc pour éviter ce problème, on calcule l'impédance de sortie minimale du transformateur correspondant à une surtension maximale dont la tension serait 240V et à un courant maximale admissible de 90 mA. Soit R_{ch} : l'impédance de sortie du transformateur

$$R_{ch} = \frac{240V}{90mA} = 2,6K\Omega \quad \text{donc } R_{ch} \geq 2,6K\Omega$$

Comme on utilise plusieurs électrodes différentes qui ont en général des résistances d'entrées différentes. Une solution pour satisfaire la condition $R_{ch} \geq 2,6K\Omega$ est de mettre une résistance. $R_0 = 2,6K\Omega$ à la sortie du transformateur; cette résistance ajoutée à la résistance interne de l'électrode constituent ensemble la résistance de charge R_{ch} du transformateur (De cette façon quelque soit la résistance interne de l'électrode on aura toujours la resistance $R_{ch} \geq 2,6K\Omega$ donc un courant de sortie inférieur à 90 mA donc une puissance fournie limitée pour R_{ch} et par conséquent la puissance fournie à l'entrée de l'électrode est aussi limitée.

- Les électrodes :

Contact avec la peau :

La peau doit être soigneusement nettoyée et dégraissée (alcool-éther) avant la pose des électrodes. Le coton hydrophile, la peau de chamois, le chamex ou le sopalin doivent être soigneusement imbibés d'eau salée. Si la température de la pièce est chaude, il faut remouiller les électrodes en cours de traitement (à l'aide d'une seringue, par exemple la pose de bandes en matières plastique évite l'évaporation.

Incidents dus aux électrodes :

Au cours de l'emploi des courants unidirectionnels, le contact direct de la peau avec le métal de l'électrode ou d'un câble légèrement dénudé provoque une escarre chimique par formation électrolytique de soude ou d'acide chlorhydrique, suivant le pôle. Si cet accident survient il y a lieu de ne rien faire et de laisser l'escarre disparaître d'elle-même. Ces escarres, si petites soient-elles, peuvent être douloureuses et limiter les mouvements d'une rééducation éventuelle.

Il est donc d'une nécessité absolue d'éviter leur formation en :

- a) surveillant particulièrement la fabrication des électrodes
- b) veillant à une correcte imbibition d'eau salée,
- c) nettoyant soigneusement la peau avant l'application des électrodes.
- d) vérifiant l'absence de contact direct du métal avec la peau.
- e) Ayant des cables en parfait état.

Parametres de stimulation.

	Coeur	Vessie	Nerf	Intramusculaire.	Surface
Fréquences	30 - 200PPm	15 - 35PPS	5 à 100 PPS	1-50PPS	1- 50 PPS
Durées (ms)	0,1 - 10	0,1 - 10	0,05-1	0,1-10	0,1 - 10
Tension(V)	0 - 9	0 - 10	0 - 10	0 - 10	10 - 60
Courant(mA)	4 - 45	50	0,1 - 10	0,5 - 10	5 - 50

PPS : impulsion / seconde

PPm : impulsion/ minute.

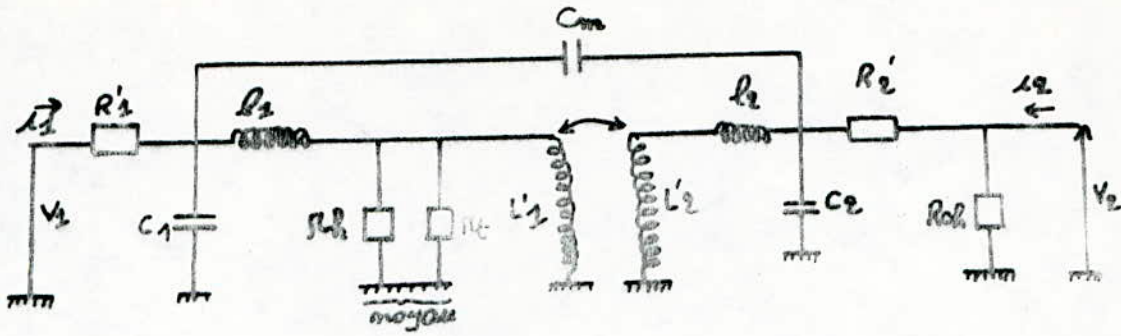


Fig-1: schéma équivalent complet du transformateur d'impulsion.

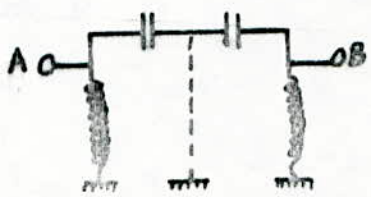


Fig-2: "Cm" dans cas d'un transformateur à écran.

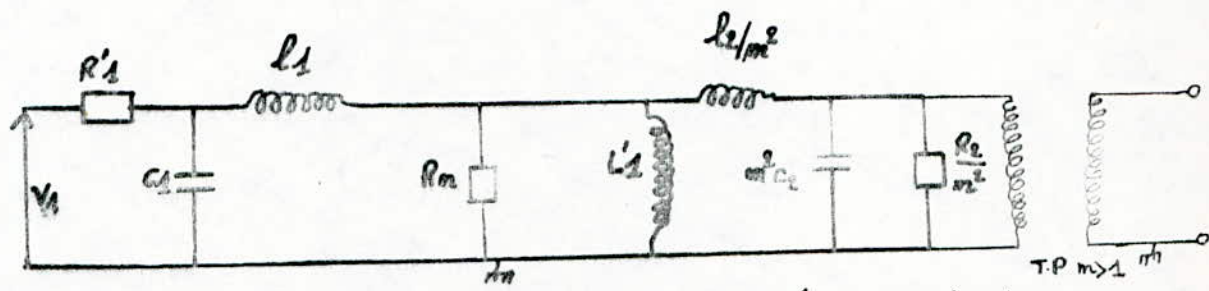


Fig-3: schéma équivalent ramené au primaire.

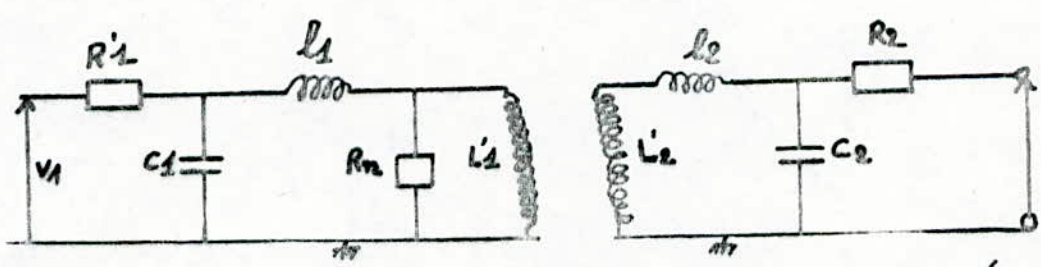


Fig-4: Transformateur élévateur de tension: (T.E.T)

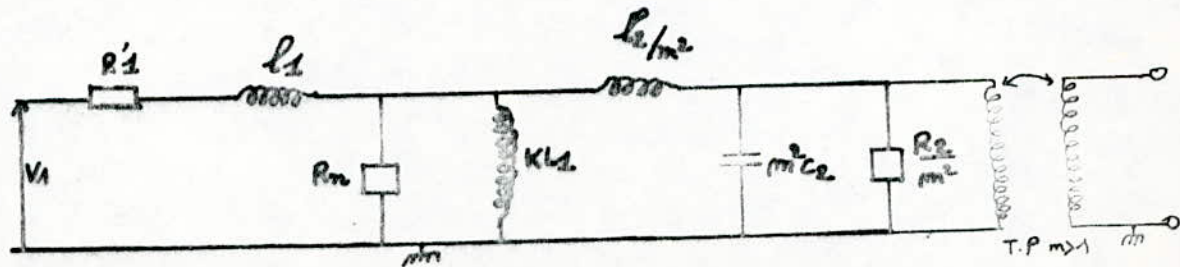


Fig-5: schéma équivalent ramené au primaire avec "C1" négligé.

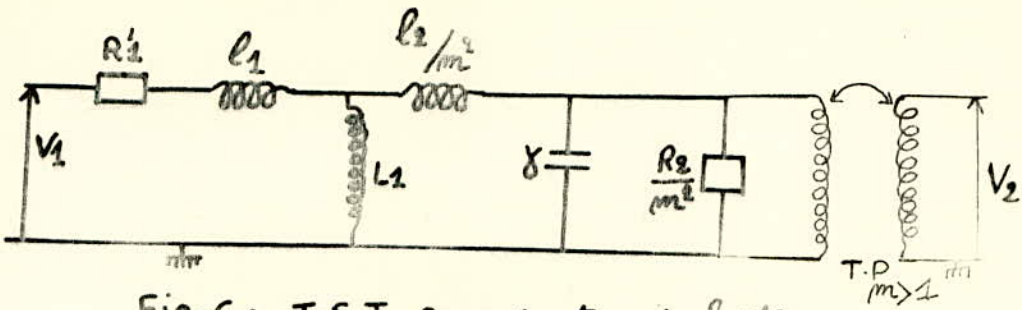


Fig-6 : T.E.T sans pertes ni fuites.

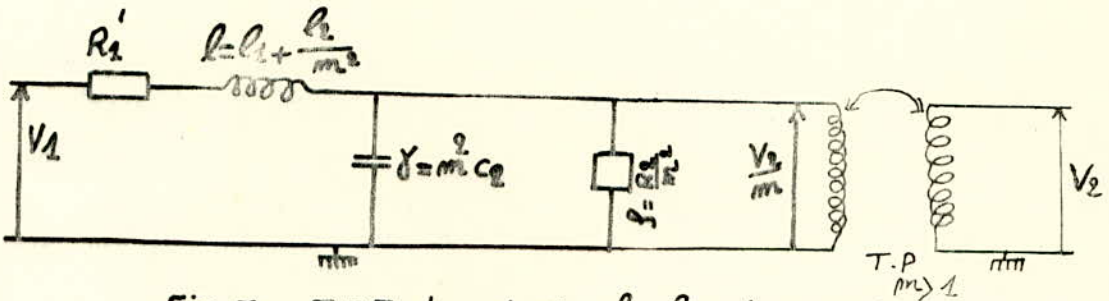


Fig-7 : T.E.T pendant le front montant.

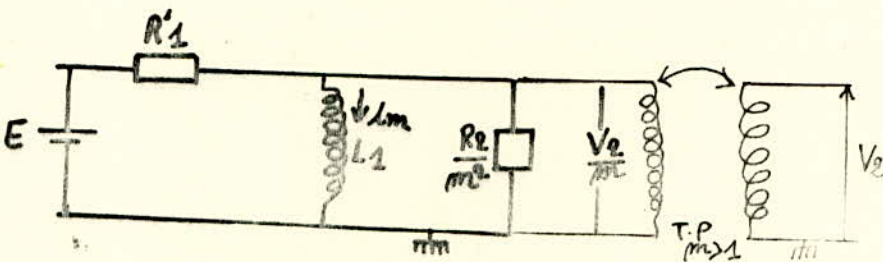


Fig-8 : T.E.T pendant le plat d'impulsion.

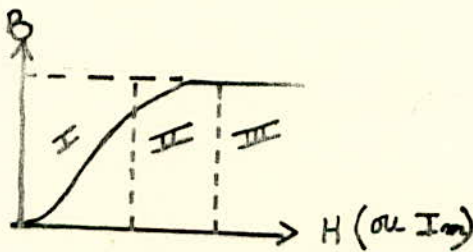


Fig-9 : Inductance primaire en fonction du courant magnétisant.

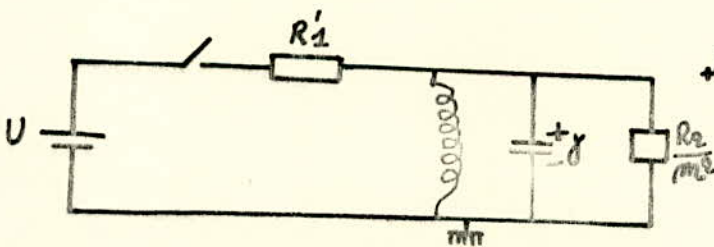


Fig-10 : T.E.T pendant le front descendant

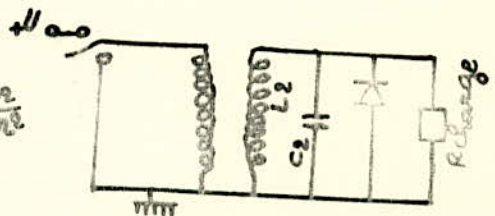


Fig-11 : Circuit de suppression du back swing.

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ à $+15\text{V}$ sauf indications contraires

Paramètres	Conditions de mesure	SE 555			NE 555			Unités
		Min	Typ.	Max	Min	Typ.	Max	
Tension d'alimentation		4,5		18	4,5		16	V
Courant d'alimentation	$V_{CC} = 5\text{V}$ $R_L = \infty$	3	5			3	6	mA
	$V_{CC} = 15\text{V}$ $R_L = \infty$		10	12		10	15	mA
	Etat bas, Note 1							
Erreur sur la durée de la temporisation (monostable)	$R_A = 2\text{k}\Omega$ à $100\text{k}\Omega$							%
Précision initiale	$C = 0,1\ \mu\text{F}$, Note 2		0,5	2		1		%
Dérive avec la température			30	100		50		ppm/°C
Dérive avec la tension d'alimentation			0,05	0,2		0,1		%/volt
Précision sur la fréquence en astable	$R_A, R_B = 2\text{k}\Omega$ à $100\text{k}\Omega$							
Précision initiale	$C = 0,1\ \mu\text{F}$, Note 2							
Dérive avec la température				1,5		2,25		%
Dérive avec la tension d'alimentation			90			150		ppm/°C
Tension			0,15			0,3		%/volt
Seuil de basculement			2/3			2/3		X V_{CC}
Tension de déclenchement	$V_{CC} = 15\text{V}$	4,8	5	5,2		5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	1,45	1,67	1,9		1,67		V
Courant de déclenchement			2,0			2,0		μA
Tension de RAZ (Note 4)		0,4	0,7	1,0	0,4	0,7	1,0	V
Courant de RAZ			0,1			0,1		mA
Courant de seuil	Note 3		0,1	0,25		0,1	0,25	μA
Tension de référence	$V_{CC} = 15\text{V}$	9,6	10	10,4	9	10	11	V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2,9	3,33	3,8	2,6	3,33	4	V
Tension de sortie au niveau bas	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{SINK} = 10\text{mA}$		0,1	0,15		0,1	0,25	V
	$I_{SINK} = 50\text{mA}$		0,4	0,5		0,4	0,75	V
	$I_{SINK} = 100\text{mA}$		2,0	2,2		2,0	2,5	V
	$I_{SINK} = 200\text{mA}$		2,5			2,5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$							
Tension de sortie au niveau haut	$I_{SINK} = 8\text{mA}$		0,1	0,25		0,25	0,35	V
	$I_{SINK} = 5\text{mA}$							
	$I_{SOURCE} = 200\text{mA}$		12,5			12,5		
	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$							
	$V_{CC} = 15\text{V}$	13,0	13,3		12,75	13,3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	3,0	3,3		2,75	3,3		V
Temps de montée du signal de sortie			100			100		nsec
Temps de descente du signal de sortie			100			100		nsec
Limite du transistor de décharge			20	100		20	100	nA

 * I_{SINK} = courant injecté

 ** I_{SOURCE} = courant extrait

Fig. 11

NOTES :

- Lorsque la sortie est à l'état haut, le courant d'alimentation est inférieur de 1 mA aux valeurs spécifiées ci-dessus.
- Ce paramètre est testé pour $V_{CC} = 5\text{V}$ et $V_{CC} = 15\text{V}$.
- Ce paramètre détermine la valeur maximale de la résistance du réseau RC extérieur. Pour une alimentation de 15 V, la valeur maximale est de 2 M Ω .
- Spécifié avec entrée de déclenchement niveau haut.

II - REGLES D'EMPLOI

Avant d'aborder les différentes applications du NE 555 et du NE 556, il est indispensable d'examiner attentivement les règles d'emploi de ces circuits.

Pour cet exposé, nous étudierons successivement les différentes broches d'accès. Les repères utilisés sont ceux du NE 555. Les remarques s'appliquent intégralement au NE 556 ; nous avons donc mis entre parenthèses les repères correspondant à ce dernier.

4047B

MONOSTABLE/ASTABLE MULTIVIBRATOR

DESCRIPTION — The 4047B is a Monostable/Astable Multivibrator capable of operating in either the monostable or astable mode. Operation in either mode requires an external capacitor (C_x) between pins 1 and 3 ($C_{ext}/R_{ext}/C_{ext}$) and an external resistor (R_x) between pins 2 and 3 ($R_{ext}/R_{ext}/C_{ext}$). These external timing components (R_x, C_x) determine the output pulse width in the monostable mode and the output frequency in the astable mode. The 4047B also has active HIGH and active LOW enable inputs (E_{A0}, E_{A1}), active HIGH and active LOW Trigger Inputs (T_0, T_1) for operation in the monostable mode, a Retrigger Input (RT), an Oscillator Output (O), active HIGH and active LOW flip-flop Outputs (Q, \bar{Q}) and an overriding asynchronous Master Reset Input (MR).

ASTABLE OPERATION: Astable operation is obtained by either a HIGH on the E_{A0} input or a LOW on the E_{A1} input. The frequency of the 50% duty cycle output at the Q and \bar{Q} outputs is determined by the external timing components (R_x, C_x). A frequency twice that of the Q and \bar{Q} outputs is available at the Oscillator Output (O). However, a 50% duty cycle is not guaranteed. The 4047B can be used as a gated oscillator by controlling the E_{A0} and E_{A1} inputs.

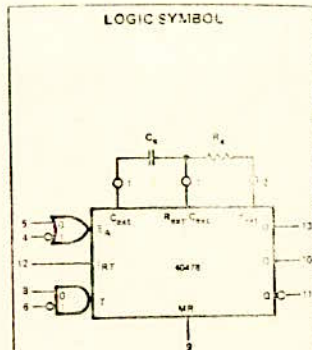
MONOSTABLE OPERATION: Monostable operation is obtained by connecting the E_{A0} input LOW and the E_{A1} input HIGH. The device can be triggered by either a LOW-to-HIGH transition at the T_0 input while the T_1 input is LOW or a HIGH-to-LOW transition at the T_1 input while the T_0 is HIGH. The output pulse width at Q and \bar{Q} is determined by the external timing components (R_x, C_x). The device can be retriggered by applying a simultaneous LOW-to-HIGH transition to both the Retrigger Input (RT) and the T_0 input while the T_1 input is LOW.

A HIGH on the Master Reset Input (MR) resets the output flip-flop ($Q = \text{LOW}, \bar{Q} = \text{HIGH}$ independent of all other input conditions).

- MONOSTABLE OR ASTABLE OPERATION
- TRUE AND COMPLEMENTARY BUFFERED OUTPUTS
- ENABLED WITH EITHER A LOW OR A HIGH LEVEL IN THE ASTABLE MODE
- TRIGGERED ON EITHER A LOW-TO-HIGH OR A HIGH-TO-LOW TRANSITION IN THE MONOSTABLE MODE
- ASYNCHRONOUS MASTER RESET
- IN THE MONOSTABLE MODE, OUTPUT PULSE WIDTH IS INDEPENDENT OF THE TRIGGER PULSE
- RETRIGGERABLE OPTION AVAILABLE FOR PULSE WIDTH EXPANSION
- IN THE ASTABLE MODE, MAY BE UTILIZED AS EITHER A FREE RUNNING OR GATED OSCILLATOR WITH A 50% OUTPUT DUTY CYCLE

PIN NAMES

C_{ext}	External Capacitor Connection
R_{ext}	External Resistor Connection
R_{ext}/C_{ext}	Common External Capacitor and Resistor Connection
RT	Retrigger Input
T_0	Trigger Input (L → H Triggered)
T_1	Trigger Input (H → L Triggered)
E_{A0}	Enable Input (Active HIGH)
\bar{E}_{A1}	Enable Input (Active LOW)
MR	Master Reset
O	Oscillator Output
Q, \bar{Q}	True and Complementary Buffered Outputs



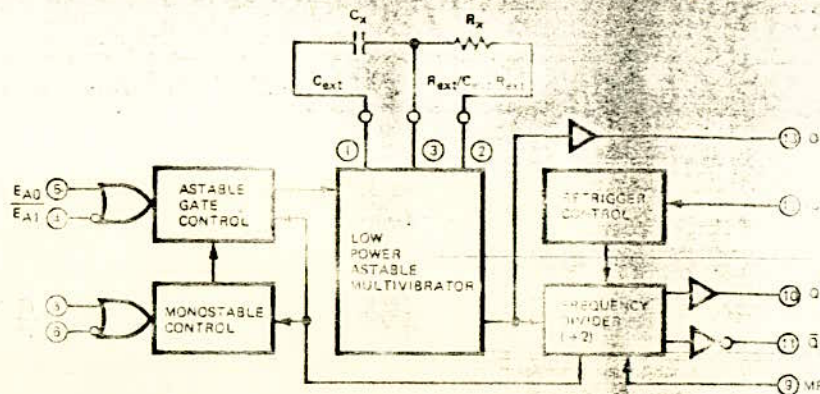
$V_{DD} = \text{Pin 14}$
 $V_{SS} = \text{Pin 7}$

CONNECTION DIAGRAM
 DIP (TOP VIEW)



NOTE:
 The Flatpak version has the same pinouts (Connection Diagram) as the Dual In-Line Package.

BLOCK DIAGRAM



$V_{DD} = \text{PIN 14}$
 $V_{SS} = \text{PIN 7}$
 O = PIN NUMBER

MODE SELECTION

INPUTS						FUNCTION
E_{A0}	\bar{E}_{A1}	T_0	T_1	RT	MR	
H	X	L	H	L	L	Astable Multivibrator (Free Running)
X	L	L	H	L	L	Astable Multivibrator (Free Running)
L	H	L	H	L	L	Astable Multivibrator (True Gating)
L	L	L	H	L	L	Astable Multivibrator (Complement Gating)
L	H	L	L	L	L	Monostable Multivibrator (Positive-Edge Triggering)
L	H	H	L	L	L	Monostable Multivibrator (Negative-Edge Triggering)
L	H	L	L	L	L	Monostable Multivibrator (Retriggering)
X	X	X	X	X	H	Reset

- H = HIGH LEVEL
- L = LOW LEVEL
- L = POSITIVE PULSE
- L = NEGATIVE PULSE
- L = POSITIVE GOING TRANSITION
- L = NEGATIVE GOING TRANSITION
- X = DON'T CARE

OPERATION RULES

1. Under normal operating conditions of the 4047B, signals at the Common External Capacitor and Resistor Connection (R_X/C_X) may go above V_{DD} or below V_{SS} . A different input protection circuit has been utilized that is not as effective as the standard input protection circuit on all other inputs. Additional care is advised.

2. An external resistor (R_X) and an external timing capacitor (C_X) are required as shown in the Block Diagram. To simply maintain oscillation there are no limits on R_X or C_X however, in the interests of accuracy and predictability it is recommended that R_X be much greater than stray capacitance in the system and C_X be much greater than the series "ON" resistance of the 4047B. In addition, as R_X becomes very large, short-term instabilities may be introduced. Recommended component values are listed below:

- $C_X > 100 \text{ pF}$ for stable operation
- $C_X > 1000 \text{ pF}$ for monostable operation
- $10 \text{ k}\Omega < R_X < 1 \text{ M}\Omega$

3. In the stable mode of operation, the output period at the Q output (T_Q) is determined as follows:

$$T_Q = 4.40 \cdot R_X \cdot C_X \text{ typically where:}$$

- C_X is in farads
- R_X is in ohms
- T_Q is in seconds

Actual output period (T_Q) will vary with fluctuations in temperature, power supply voltage, and individual device-to-device threshold voltages.

4. In the monostable mode of operation the output pulse width at the Q output (tw_Q) is determined as follows:

$$tw_Q = 2.48 \cdot R_X \cdot C_X \text{ typically where:}$$

- C_X is in farads
- R_X is in ohms
- tw_Q is in seconds

Actual output pulse width (tw_Q) will vary with fluctuations in temperature, power supply voltage, and individual device-to-device threshold voltages.

5. It should be noted that in the stable mode of operation, the first positive half cycle will have a duration equal to $tw_Q = 2.48 \cdot R_X \cdot C_X$. Succeeding positive half cycles will have a duration of $T_Q = 4.40 \cdot R_X \cdot C_X$.

6. Under all operating conditions, C_X and R_X must be kept as close to the circuit as possible to minimize stray capacitance and reduce noise pickup.

7. V_{DD} and ground wiring should conform to good high frequency standards so that switching transients on V_{DD} and ground leads do not cause interaction between devices. Use of a 0.01 to 0.1 μF bypass capacitor between V_{DD} and ground located near the 4047B is recommended.

8. In the retriggering mode of operation extended output pulse width at the Q or \bar{Q} outputs may be obtained by applying more than one input pulse to the T_0 and T_1 inputs simultaneously.

9. An overriding active HIGH, Master Reset Input (MR) is provided on the 4047B device. By applying a HIGH to the Master Reset Input, any timing cycle can be terminated or any new cycle inhibited until the HIGH Master Reset signal is removed. Trigger inputs will not produce spikes in the output when Master Reset is HIGH.

CHARACTERISTICS: V_{DD} as shown, $V_{SS} = 0 \text{ V}$ (Note 2)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS						UNITS	TEMP	TEST CONDITIONS
		$V_{DD} = 5 \text{ V}$			$V_{DD} = 10 \text{ V}$					
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
I_{DD}	Quiescent	XC		20		40		80	μA	MIN: 25°C MAX: at 0 V or V_{DD}
			Power		150		300			
	Supply	XM		5		10		20		
			Current		150		300			

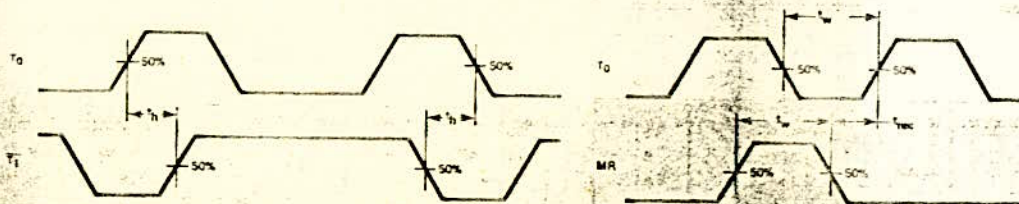
AC CHARACTERISTICS AND SET UP REQUIREMENTS: V_{DD} as shown, $V_{SS} = 0 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$ (See Note 2)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS						UNITS	TEST CONDITIONS	
		$V_{DD} = 5 \text{ V}$			$V_{DD} = 15 \text{ V}$					
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
t_{PLH}	Propagation Delay, E_{A0} OR E_{A1} to 0		100		40	125	38	100	ns	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 200 \text{ k}\Omega$ Input Transition Times $\leq 20 \text{ ns}$
t_{PHL}	Propagation Delay, E_{A0} OR E_{A1} to Q or \bar{Q}		160		74	125	56	148	ns	
t_{PLH}	Propagation Delay, T_0 OR T_1 to Q or \bar{Q}		210		94	235	68	108	ns	
t_{PHL}	Propagation Delay, T_0 OR T_1 to Q or \bar{Q}		210		94	235	68	108	ns	
t_{PLH}	Propagation Delay, T_0 , T_1 OR T_2 to Q or \bar{Q}		116		60	130	46	104	ns	
t_{PHL}	Propagation Delay, T_0 , T_1 OR T_2 to Q or \bar{Q}		116		60	130	46	104	ns	
t_{PLH}	Propagation Delay, MR to Q or \bar{Q}		100		44	125	28	100	ns	
t_{PHL}	Propagation Delay, MR to Q or \bar{Q}		100		44	125	28	100	ns	
t_{TCH}	Output Transition Time		65	135	31	75	24	45	ns	
t_{TCL}	Output Transition Time		60	135	25	75	20	45	ns	
t_w	Minimum Pulse Width (Any Input)	400	160		170	68	136	44	ns	
t_{rec}	MR Recovery Time	0	-30		0	-15	0	-10	ns	
t_h	Hold Time, T_0 to T_1	64	32		32	16	26	13	ns	
t_h	Hold Time, T_1 to T_0	64	32		32	16	26	13	ns	

Notes:

1. Additional dc characteristics are listed in this section under 4000B Series CMOS Family Characteristics.
2. Propagation Delays and Output Transition Times are graphically described in this section under 4000B Series CMOS Family Characteristics.
3. It is recommended that input rise and fall times to the T_0 , T_1 , or T_2 inputs be less than 15 ns at $V_{DD} = 5 \text{ V}$, 4 ns at $V_{DD} = 10 \text{ V}$ and 3 ns at $V_{DD} = 15 \text{ V}$. Also input rise and fall times to E_{A0} and E_{A1} should be less than 500 ns at any V_{DD} voltage.

SWITCHING WAVEFORMS



HOLD-TIMES, T_0 TO T_1 AND T_1 TO T_0

Hold Times are shown as positive values, but may be specified as negative values.

MINIMUM PULSE WIDTHS AND RECOVERY TIME FOR MR

CONDITIONS: $T_1 = \text{LOW}$ while T_0 is triggered on a LOW-to-HIGH transition. t_w and t_{rec} also apply when $T_0 = \text{HIGH}$ and T_1 is triggered on a HIGH-to-LOW transition.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- J. Dumoulin et G. de Bisschop: les courants excito-moteur en
rééducation fonctionnelle
Maloine SA. Editeur, Paris (9729)
- C. Hamonet: ABC de l'EMG , Masson, Paris (1980)
- "
Wen. H. Ko. : Implant instrumentation ; Electronics Engineers Hand Book
Mac Graw Hill Company (1975)
- Delprat. J et Arbus. L. : bilan électrologique
Encycl. Med. Chir, Paris , Kinesithérapie
26015A¹⁰ 7,4.7.10
- P. Isch : Électromyographie, Encycl. Med. Chir., Paris (19759)
Seméiologie; 17030 B¹⁰
- P. Mathieu : Électrodiagnostic de Stimulation
Encycl. Med. Chir. Paris (1968)
Seméiologie; 17030 A¹⁰
- J. P. Vabre, G. Metzger : Électronique des impulsions T1
Masson; Paris, (1966)
- C. Verbeek : Fonction essentielles en commutation, Dunod, Paris (1980)
- " " : Les composants actifs en commutation, " " "
- J. Trémolière : Électronique médicale "Technique de l'ingénieur E4"
(E2300) (1983)
- R. Bouju : Transformateur et inductance pour appareillage
radioélectrique, "Technique de l'ingénieur E2" (E532) (1983)
- Documents techniques : Fairchild Data Book
Note LNA 129, RTC
- Catalogues : Nihon Kohden (JAPON)
DISA (DANEMARK)