

Rapport de projet d'électronique analogique : analyseur de spectre à balayage



Plan :

Introduction :.....	2
I. Principe de fonctionnement :	3
II. Schéma synoptique :.....	4
III. Cahier des charges :	4
IV. Simulation fonctionnelle (modèles mathématiques) :	5
V. Les différents éléments :.....	6
V.1. Le générateur de rampes :	6
V.2. L'oscillateur commandé en tension :	7
V.3. Le multiplieur	8
V.4. Le filtre passe-bande :	9
V.5. Le détecteur de crête :.....	10
V.6. L'amplificateur logarithmique :	10
V.7. L'oscilloscope (visualisation du spectre) :.....	11
VI. Problèmes rencontrés :.....	11
Conclusion générale :	12

Introduction :

Le but de ce projet est de réaliser un analyseur de spectre analogique hétérodyne à balayage à partir de composants discrets.

Pour ce faire, un certain nombre de composants sont mis à disposition et certaines conditions sont à respecter (bande passante du signal d'entrée, amplitude...).

L'intérêt d'un tel montage est de visualiser, à l'aide d'un oscilloscope branché en sortie du montage et utilisé en mode XY, le spectre du signal à analyser appliqué en entrée.

I. Principe de fonctionnement :

L'oscilloscope permettant de visualiser le spectre est utilisé en mode XY, l'axe X (entrée1) étant l'axe des abscisses, tandis que l'axe Y (entrée2) correspond à l'axe des ordonnées. Les deux tensions utilisées effectueront donc un balayage horizontal et vertical sur l'écran. Afin de réaliser un balayage linéaire (vitesse constante), il faut donc injecter une rampe sur la voie 1 de l'oscilloscope. Cette rampe sera générée à l'aide d'un astable NE555. La fréquence du signal généré est déterminée selon deux contraintes principales : le temps de réponse du circuit et le confort visuel.

Outre le balayage de l'axe fréquentiel de l'oscilloscope, le générateur de rampes servira au balayage fréquentiel de l'analyseur en lui-même. De fait, associé à un oscillateur commandé en tension (OCT), il permettra de faire varier linéairement la fréquence de l'OCT et donc de parcourir linéairement le spectre. De fait, en sortie de l'OCT, nous avons un multiplieur qui permettra, comme son nom l'indique, de multiplier le signal à analyser avec le signal issu de l'OCT. Il en résulte une addition des fréquences. Lorsque l'OCT arrivera à une fréquence entrant dans la plage donnée dans le cahier des charges, il en résultera, en sortie du multiplieur, une fréquence particulière.

Par exemple, si l'on nomme $F_{e_{\min}}$ et $F_{e_{\max}}$ les fréquences minimale et maximale du spectre, $F_{vco_{\min}}$ et $F_{vco_{\max}}$ les fréquences minimale et maximale en sortie de l'OCT et F_s la fréquence résultante après addition des signaux, on doit obtenir :

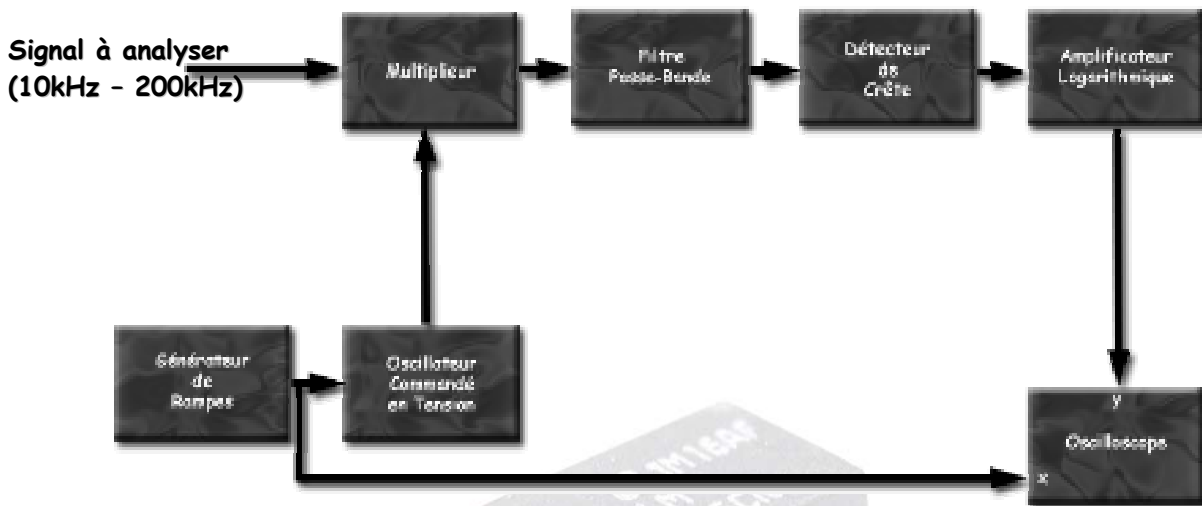
$$F_{vco_{\min}} + F_{e_{\max}} = F_{vco_{\max}} + F_{e_{\min}} = F_s$$

D'où l'importance d'une variation linéaire de la fréquence.

Le signal résultant de cette addition fréquentielle est ensuite filtré pour ne faire ressortir que les fréquences du signal d'entrée qui nous intéressent, c'est-à-dire, celles dont le résultat de l'addition donne F_s .

Les étapes suivant le filtrage permettent de rendre le signal plus "compréhensible" pour l'utilisateur. De fait, nous avons notamment un détecteur de crête dont la fonction est de lisser le signal afin de ne conserver que sa silhouette. Celui-ci ne doit conserver que la partie positive du signal (la partie négative étant le miroir de la partie positive et n'apportant aucune information supplémentaire). Enfin, nous avons un amplificateur logarithmique qui permet de d'obtenir un affichage du spectre selon une échelle logarithmique.

II. Schéma synoptique :



III. Cahier des charges :

Pour réaliser ce projet, un certain nombre de spécifications et de contraintes on dû être prises en compte :

- Spectre fréquentiel de l'analyseur : 10kHz - 200kHz
- Fréquence centrale du filtre passe-bande : 455kHz +/- 10kHz
- Amplitude maximale du signal d'entrée : 10V crête (20V crête à crête)
- Fréquence de balayage de l'axe des fréquences : 50Hz

La fréquence de balayage de l'axe fréquentiel de l'oscilloscope doit être suffisamment basse pour laisser le temps au circuit de "réagir" mais aussi pour assurer un minimum de confort visuel. Nous avons donc choisi 50Hz car elle correspond à un bon compromis entre ces deux contraintes.

IV. Simulation fonctionnelle (modèles mathématiques) :

Prenons le cas simple où le signal à analyser est sinusoïdal. Son spectre se réduira ainsi à un seul "pic". Il est de la forme :

$$v_x = V_x \cdot \cos(2\pi \cdot f_x \cdot t)$$

La fréquence du signal en sortie de l'OCT est proportionnelle à la tension en entrée. Nous avons ainsi :

$$f_{OCT} = k_{OCT} \cdot V_{rampe}$$

d'où :
$$v_{OCT} = V_{OCT} \cdot \sin(2\pi \cdot k_{OCT} \cdot V_{rampe} \cdot t)$$

Le fait de multiplier les deux signaux précédents nous ramène à un signal de la forme (avec k_{mult} le coefficient du multiplieur) :

$$v_{mult} = 0,5 \cdot k_{mult} \cdot V_x \cdot V_{OCT} \cdot [\sin(2\pi(f_x - k_{OCT} \cdot V_{rampe}) \cdot t) + \sin(2\pi(f_x + k_{OCT} \cdot V_{rampe}) \cdot t)]$$

Nous avons ainsi deux fréquences en sortie. En filtrant à l'aide d'un filtre passe bande autour de l'une de ces deux fréquences, cela nous permet ainsi d'en "récupérer" une.

Le filtre choisi donne ainsi :

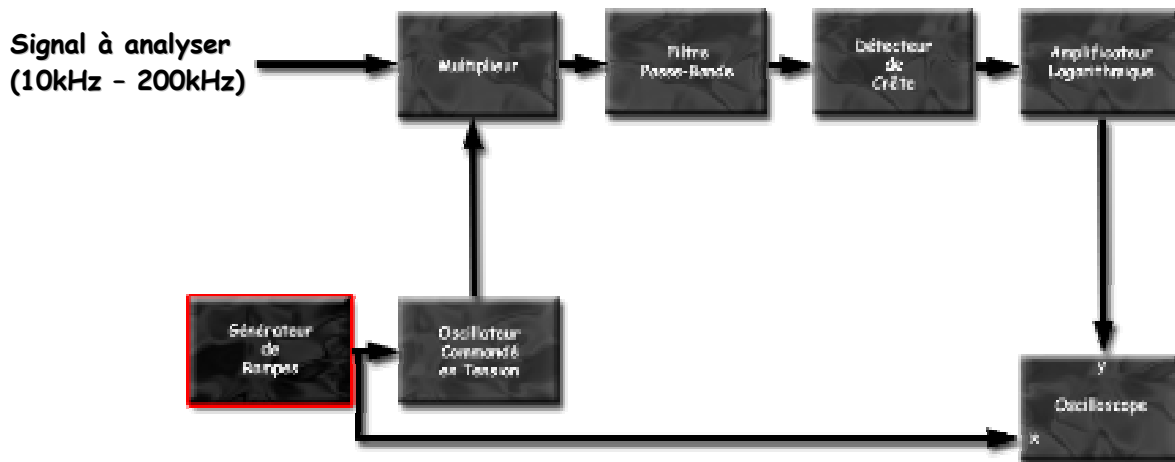
$$v_{filtre} = 0,5 \cdot k_{mult} \cdot V_x \cdot V_{OCT} \cdot \sin(2\pi(f_x + k_{OCT} \cdot V_{rampe}) \cdot t)$$

celui-ci étant centré sur la fréquence $f_x + k_{OCT} \cdot V_{rampe}$.

Les étapes suivantes permettent de récupérer l'amplitude du signal afin d'avoir un signal "propre" et d'amplifier le tout pour que le pic soit visible.

V. Les différents éléments :

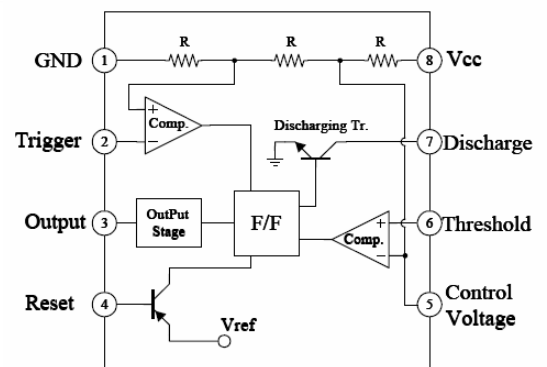
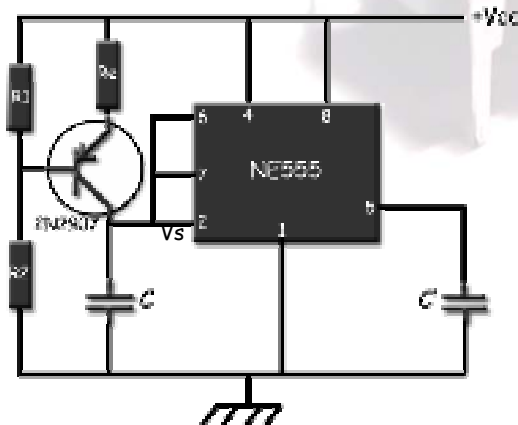
V.1. Le générateur de rampes :



Conçu autour d'un astable NE555, le générateur de rampes a pour but de "contrôler" l'OCT ainsi que la fréquence de balayage de l'oscilloscope.

Comme nous l'avons montré précédemment, nous prenons une fréquence $f_0 = 50\text{Hz}$

Nous avons ainsi le montage suivant :



Avec : $T_0 = (1/3).C.(R_1+R_2).R_e/R_1$

D'où : $C = 3.T_0.R_1/(R_e.(R_1+R_2))$.

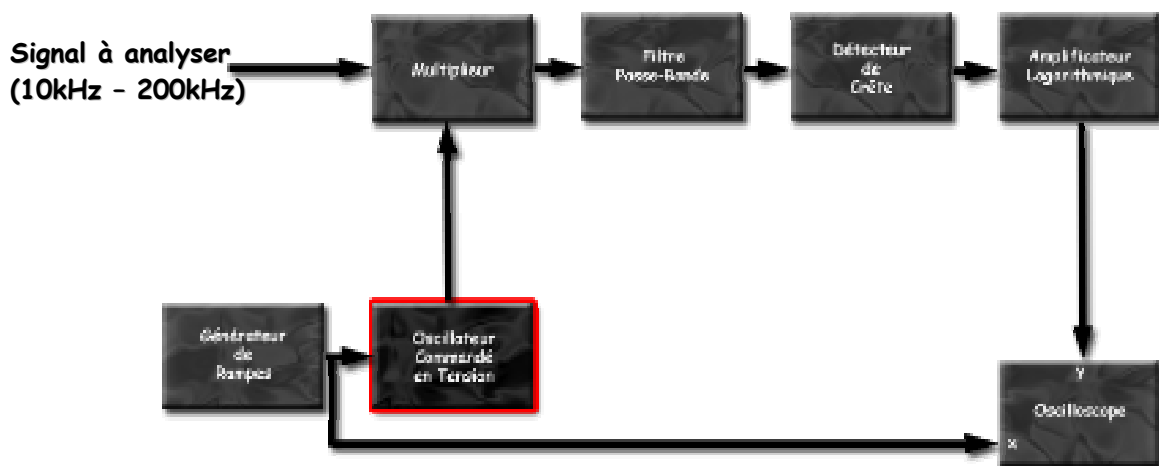
En se fixant $R_1 = 4,7\text{k}\Omega$; $R_2 = 10\text{k}\Omega$ et $R_e = 33\text{k}\Omega$, on calcule $C = 581\text{nF}$.

Cependant, après avoir fait des essais, la fréquence ne correspond pas. En changeant la valeur de C , on obtient $F_0 = 52,36\text{Hz}$ pour $C = 470\text{nF}$.

C' vaut, quant à lui, $C' = 10\text{nF}$.

Comme V_{cc} est fixée à 15V , on a donc $5\text{V} < V_s < 10\text{V}$ (car $V_{cc}/3 < V_s < 2.V_{cc}/3$).

V.2. L'oscillateur commandé en tension :



L'oscillateur commandé en tension est fait à l'aide d'un générateur de fonctions intégré XR2206.

Le balayage doit, d'après le cahier des charges, entrer dans la bande de fréquence 10kHz - 200kHz tout en passant dans la fenêtre du filtre passe-bande placé en sortie. Le filtre fourni est centré sur 455kHz avec une bande passante à -3dB de 10kHz.

Ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, nous avons :

$$10\text{kHz} + F_{\text{max}} = 455\text{kHz} \text{ et } 200\text{kHz} + F_{\text{min}} = 455\text{kHz}$$

Soit $F_{\text{max}} = 445\text{kHz}$ (obtenue pour $V_{c_{\text{min}}} = 5\text{V}$) et $F_{\text{min}} = 255\text{kHz}$ (à $V_{c_{\text{max}}} = 10\text{V}$). Le schéma à appliquer en entrée pour ce genre de montage est le suivant (doc. technique) :

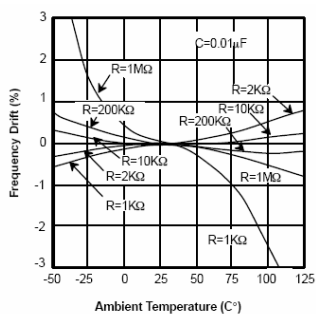


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

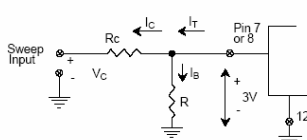
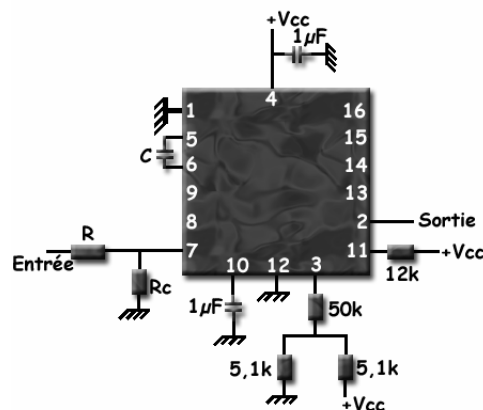


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.



Ainsi, l'abaque montre que, pour une meilleure stabilité en température, la valeur de R doit être fixée à $10\text{k}\Omega$.

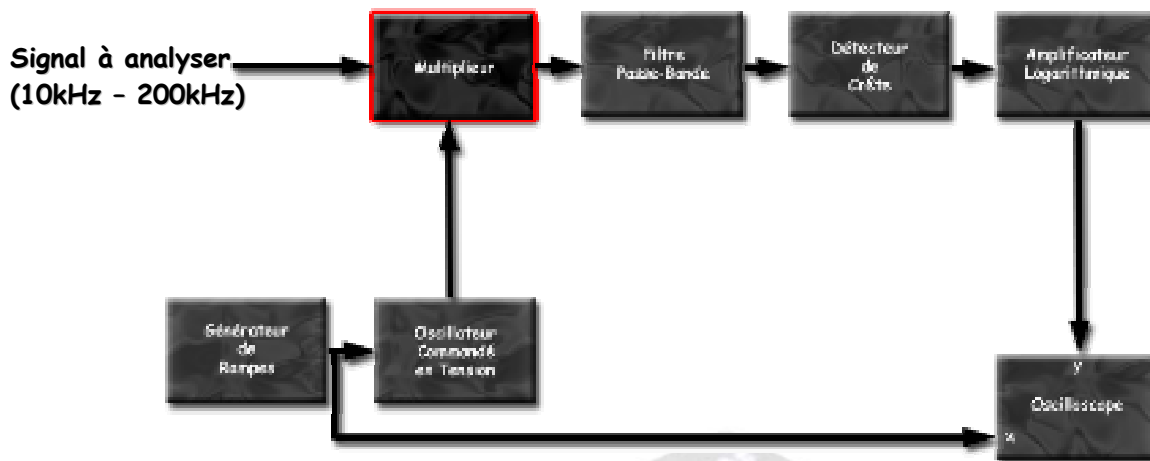
À $V_{c_{\text{min}}} = 5\text{V}$, nous avons $F_{\text{max}} = 1/(R.C) = 445\text{kHz}$ d'où $C = 220\text{nF}$

Or la documentation constructeur donne : $K = \frac{df}{dV_c} = -\frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$

Ainsi, on a : $R_c = 37 \text{ k}\Omega$.

Afin d'adapter le XR2206 au générateur de rampes, il nous a fallu ajouter un montage suiveur entre ces deux éléments, à partir d'un TL081.

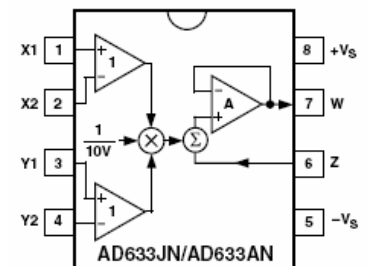
V.3. Le multiplieur



En raison de sa bande passante (1MHz) et de son faible coût, le multiplieur analogique AD633 est un composant bien adapté à notre situation. De plus, celui-ci est relativement simple à mettre en œuvre puisqu'il contient deux soustracteurs dont la sortie est reliée à un multiplieur en cascade avec un additionneur.

Ainsi, nous avons $W = (X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)/10V + Z$.

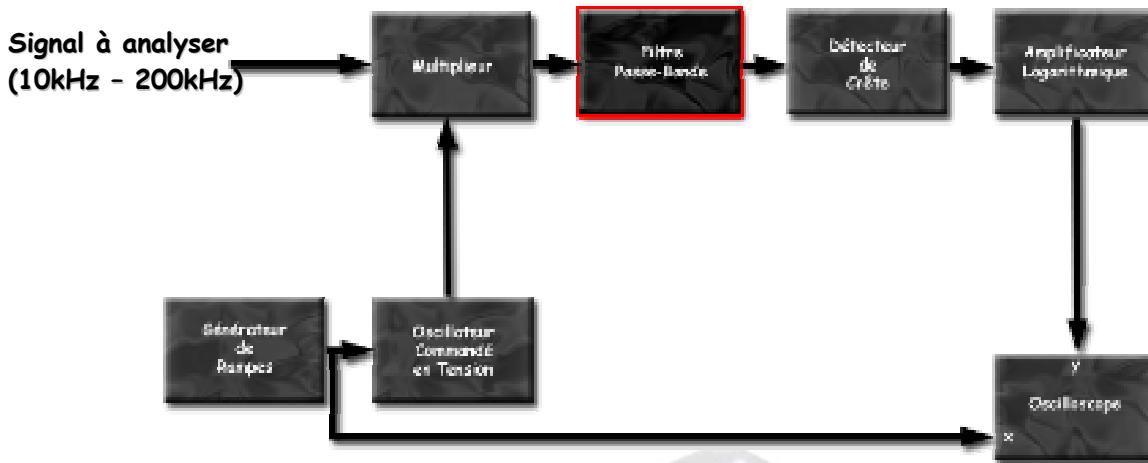
En mettant X_2 , Y_2 et Z à la masse, nous obtenons : $W = X_1 \cdot Y_1 / 10V$.



Le signal en sortie de l'OCT contient une composante continue, d'où la nécessité de réaliser un filtrage préalable avant de connecter la sortie de l'OCT sur l'une des entrées du multiplieur. Ce filtrage s'effectue par un simple filtre passe-haut R-C à l'aide d'une résistance de $1k\Omega$ et d'un condensateur de $1\mu F$ ce qui nous donne une fréquence de coupure $f_c = 160Hz$.

Le signal filtré par ce filtre passe-haut permet de récupérer le signal qui nous intéresse et donc de le multiplier avec le signal à analyser sans erreur. L'un des deux signaux sera ainsi envoyé sur la voie X_1 , l'autre sera pour la voie Y_1 .

V.4. Le filtre passe-bande :



Le signal sorti du multiplieur doit être filtré pour ne garder que le 455kHz. Pour cela nous utilisons un filtre céramique passe-bande 455kHz +/- 5kHz à -3dB.

Le filtre étant à peine assez sélectif, nous avons décidé d'ajouter un 2^{ème} filtre en série identique au précédent afin d'améliorer la qualité du filtrage.

Cependant, en plus de la division de la tension par 10 réalisée par le multiplieur, le signal en sortie du filtre est plus atténué ce qui nous oblige à rajouter en sortie du filtrage un amplificateur non-inverseur simple réalisé à l'aide d'un TL081. Le produit gain-bande du TL081 étant de 4MHz et notre signal ayant une fréquence maximum de 460kHz, le gain de l'amplification ne doit pas dépasser $\frac{4MHz}{460kHz} = 8,7$.

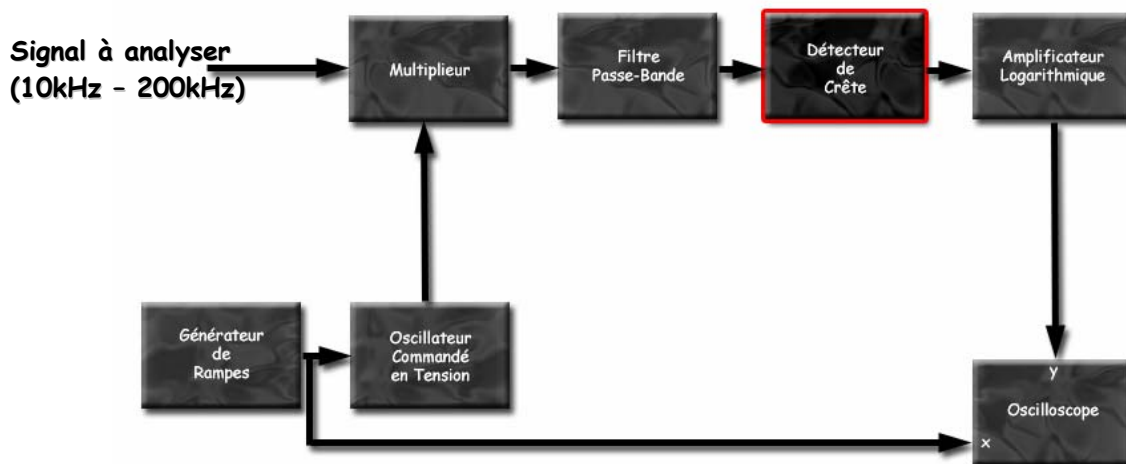
Nous avons donc choisi d'amplifier le signal par 7,8 pour rester en-dessous de cette limite.

Calcul de l'amplificateur :

$$V_e = \frac{V_s \times R_1}{R_1 + R_2} \rightarrow V_s = \frac{V_e(R_1 + R_2)}{R_1} \rightarrow 7,8 = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

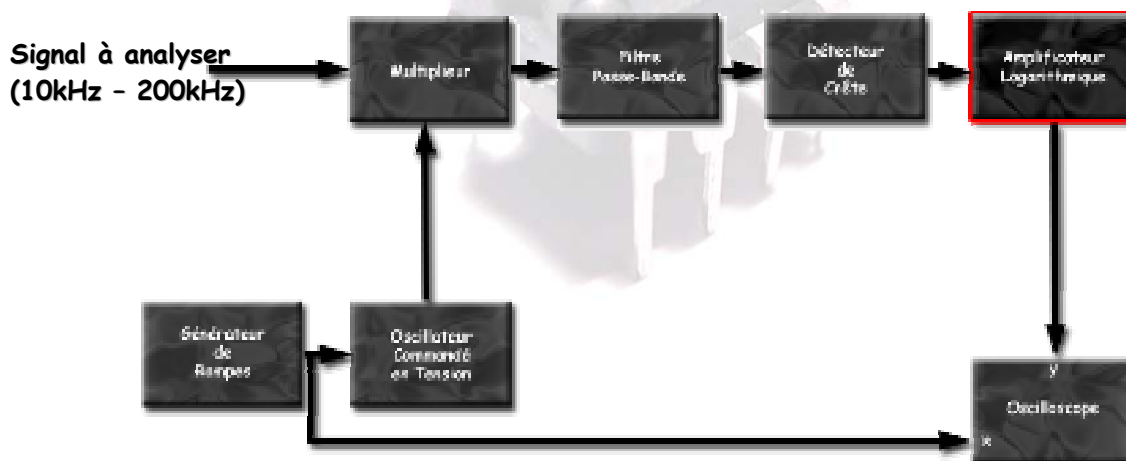
On prend $R_1 = 1k\Omega \rightarrow R_2 = 6,8k\Omega$

V.5. Le détecteur de crête :



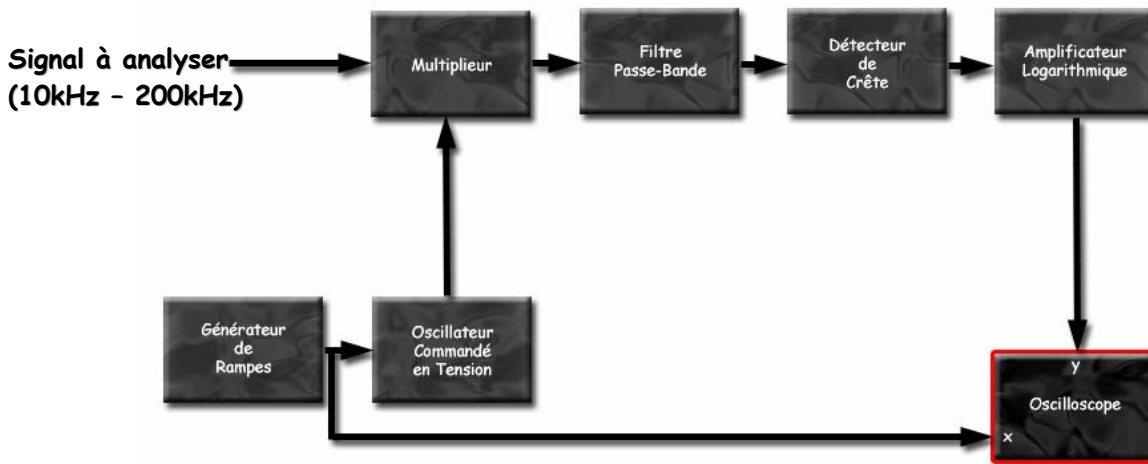
Le signal entrant sur la voie Y de l'oscilloscope doit être positif (tout comme le signal entrant sur la voie X). Pour cela nous avons réalisé un détecteur de crête à l'aide d'une diode et d'un condensateur de 1nF en parallèle avec une résistance de 100k Ω reliés à la masse.

V.6. L'amplificateur logarithmique :



Sans amplificateur logarithmique, le spectre d'un signal sinusoïdal serait assez large à sa base. Afin de permettre un affichage logarithmique du spectre sur l'oscilloscope, nous devons placer un amplificateur logarithmique. Nous avons réalisé cet amplificateur à l'aide de deux amplificateurs opérationnels TL081. Dans un premier temps nous avons réalisé l'amplificateur logarithmique à l'aide d'un AD536. Mais le signal de sortie était beaucoup trop atténué ce qui rendait l'analyseur de spectre non utilisable. Avec un montage à l'aide de deux TL081, le signal est très peu atténué et nous avons sur le spectre une belle raie dont l'amplitude est analysable par un utilisateur. Cet amplificateur logarithmique inversant le signal, nous ajoutons un inverseur en sortie réalisé à l'aide d'un TL081 et deux résistances identiques de 5,6k Ω .

V.7. L'oscilloscope (visualisation du spectre) :



Le signal sortant du NE555 étant branché sur la voie X et la sortie de l'amplificateur logarithmique étant branchée sur la voie Y de l'oscilloscope, nous obtenons un spectre dont la raie se déplace en fonction de la fréquence appliquée en entrée. Ce spectre permet de visualiser un signal dont la fréquence varie entre environ 15kHz et 180 kHz (10kHz et 200kHz) dans le cahier des charges. Cet écart est dû à la précision des composants et aux valeurs de résistances et de condensateurs ne correspondant pas exactement aux valeurs calculées théoriquement.

VI. Problèmes rencontrés :

Quelques difficultés ont été rencontrées lors de la réalisation de ce projet. La plupart d'entre elles étaient plutôt minimes et concernaient notamment l'adaptation des différents éléments entre eux.

Nous devons cependant noter que celle qui nous a posé le plus de problèmes concernait l'utilisation du convertisseur RMS-DC AD536. De fait, nous n'arrivions pas à trouver le câblage permettant de récupérer un signal correct en sortie, celui-ci se retrouvant très atténué à tel point qu'il se confondait presque avec le bruit.

Cela explique donc notre choix de nous orienter vers des montages plus "classiques" à partir d'un détecteur de crête utilisant une diode, un condensateur et une résistance, et d'un amplificateur logarithmique réalisé autour d'un amplificateur opérationnel TLO81.

Conclusion générale :

Nous avons pu voir, à travers ce projet, la conception même d'un analyseur de spectre "simple".

Cependant, au-delà de la conception d'un tel dispositif dont l'utilisation sera très limitée par rapport aux technologies actuelles (d'autant plus que la plupart des oscilloscopes actuels intègrent la fonction d'analyse spectrale), ce projet nous a permis de comprendre la façon de procéder pour la réalisation d'un projet en général.

De fait, il a fallu prendre en compte un certain nombre de paramètres allant de l'organisation du travail aux difficultés techniques liées à la réalisation sur plaquette d'essai en passant par la théorie du fonctionnement du montage.

De plus, ce projet a eu le mérite de nous apprendre à mieux manipuler les documentations techniques des différents constructeurs afin d'en tirer les informations qui nous sont utiles.

Sur un plan personnel, celui-ci aura donc été d'un grand intérêt.