

Objectifs : Ce TP vous propose de mettre en œuvre les bases des transmissions et modulations numériques en proposant plusieurs expérimentations dans les parties suivantes :

A - Transmission en bande de base :

On vous propose dans cette partie de retrouver les propriétés temporelles et fréquentielles des codages NRZ bipolaire et Manchester. Nous effectuerons la vérification du concept de Shannon Hartley par la mise en place d'une liaison numérique en simulant un canal de transmission et en proposant une représentation du diagramme de l'œil.

B & C - Découverte et mise en œuvre de modulation & démodulation autour du diagramme IQ :

On vous propose de mettre en œuvre 2 modulations numériques didactiques autour du diagramme IQ : ASK/OOK & BPSK. Cette partie permet d'analyser et caractériser les modulations d'un point de vue temporel et fréquentiel. On vous propose également l'étude de 2 techniques de démodulations.

Partie A : Transmission en bande de base

On vous propose d'étudier dans cette partie les propriétés temporelles et fréquentielles des signaux numériques codés en bande de base c'est à dire transmis sans passer par une modulation sur porteuse sinusoïdale. Les informations numériques sont généralement transmises en série de manière synchrone. On se place volontairement dans le cas de débits binaires élevés sur de longues distances de transmission. Pour ces liaisons, l'information numérique est généralement codée afin de satisfaire des critères importants comme l'occupation spectrale ou la possibilité de récupérer le rythme d'horloge initial.

Afin de caractériser au mieux les différents codes couramment utilisés nous allons utiliser un générateur de fonctions arbitraire produisant des séquences numériques pseudo aléatoires (période de répétition très grande) sous différents codages. Dans le cadre de cette séance de travaux pratiques nous allons nous contenter d'utiliser des signaux prêts à l'emploi au format **.tfw** spécifique aux générateurs Tektronix de la famille AFG

Les signaux arbitraires se trouvent déjà dans les mémoires internes du générateur pour stocker les formes d'ondes arbitraires comme l'indique la liste ci-contre.

user 1 : Codage NRZ bipolaire tirage au sort n°1

user 2 : Codage Manchester correspondant au tirage au sort n°1

Les séquences numériques possèdent toutes une probabilité identique de symboles 0 et 1.

Dans un premier temps on connecte les 2 sorties du générateur AFG3022 sur les voies de l'oscilloscope comme l'indique la figure 1 suivante. Pour utiliser les séquences numériques avec le générateur AFG3022 :

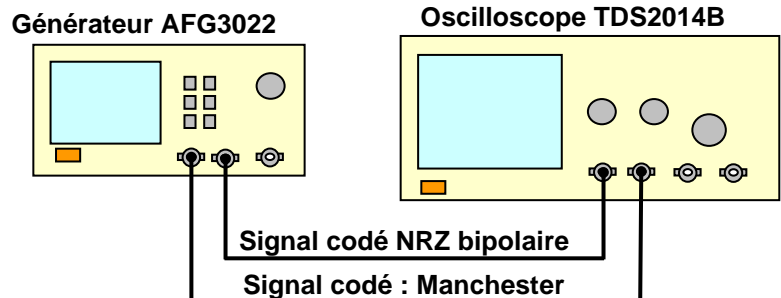


Figure 1 : Observation temporelle des signaux codés

☞ Choisir la fonction Arb puis Arb Waveform Menu

☞ Sélectionner Memory sur interne

☞ Choisir entre user 1 (NRZ bipolaire) & user 2 (Manchester) et appuyer sur OK pour le sélectionner.

☐ On choisira comme signal de référence le signal codé NRZ bipolaire qui est la traduction directe de l'information numérique à transmettre. Régler la fréquence de répétition de la séquence afin d'obtenir un débit binaire de 1Mbits/s. Pour cela il est indispensable de prendre en considération le nombre de symboles présents dans une séquence comme le montre la figure suivante :

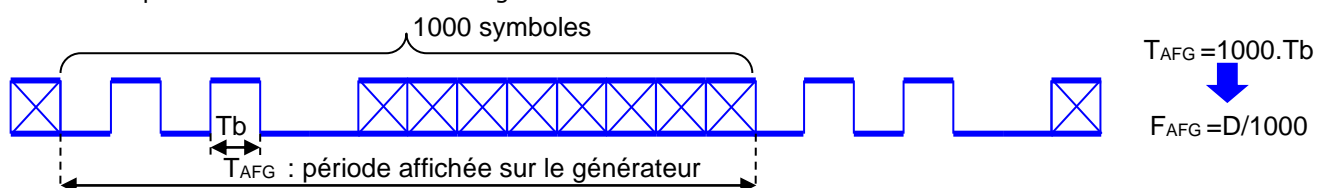


Figure 2 : Principe de la séquence pseudo aléatoire et relations correspondantes

☐ Sur l'autre voie on choisit donc la séquence numérique correspondant au code Manchester en veillant à correctement aligner les séquences (Aligner la phase). Pour les différents codes proposés on fixe des niveaux de transmission évoluant entre -1V et +1V.

☐ Relever en concordance de temps les 2 codes obtenus et vérifier la cohérence des résultats.

On désire maintenant analyser le contenu fréquentiel de ces signaux en utilisant l'analyseur de spectre.

☐ Observer et relever les spectres pour les 2 codes proposés. Noter la procédure à mener dans les réglages de l'analyseur de spectre pour obtenir un tracé semblable aux densités spectrales connues. Vous effectuerez le relevé pour des échelles LOG & LIN

☐ Quelles sont rapidement les particularités des codes proposés ?

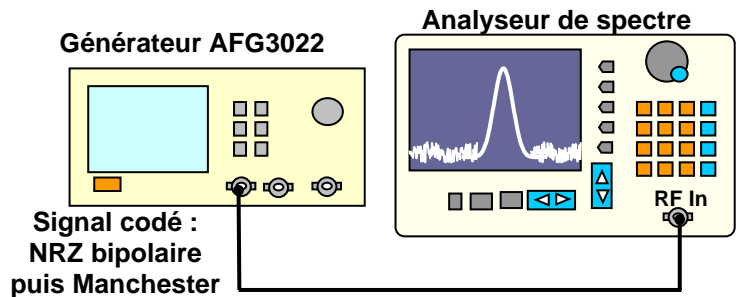


Figure 3 : Observation fréquentielle des signaux codés

Afin de mettre en place la construction du diagramme de l'œil, on propose maintenant la manipulation représentée sur la figure 4 suivante.

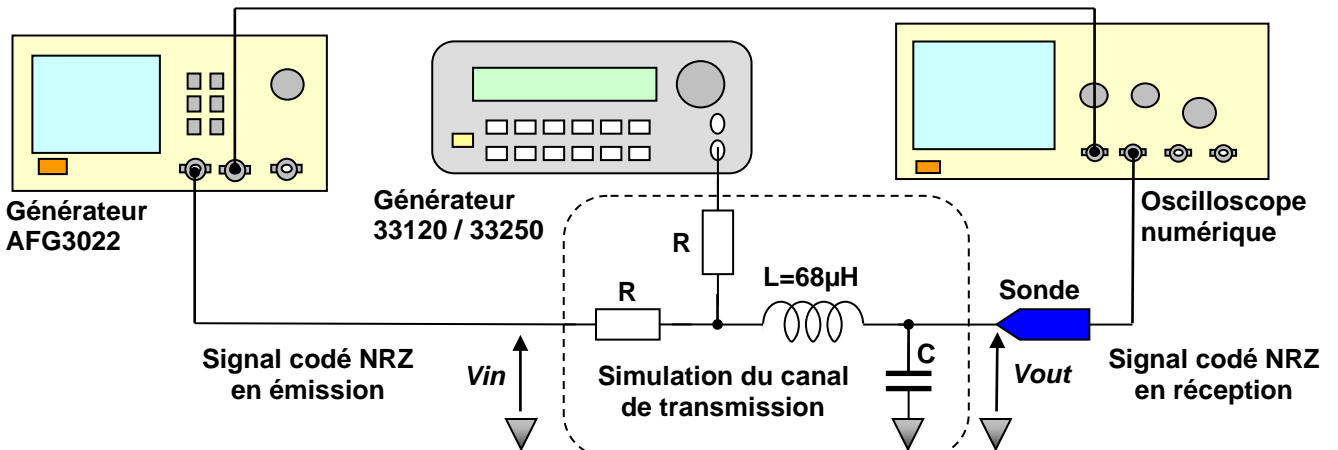


Figure 4 : Mise en œuvre du diagramme de l'œil

Le générateur AFG3022 délivre un signal codé NRZ bipolaire (+/-U avec U=1V) et un signal d'horloge synchrone. On utilise le générateur hp33120A (ou 33250) comme source de bruit en utilisant le menu noise.

☐ Le montage proposé simule simplement un canal de transmission. On fixe C=390pF et R=1,5kΩ. Mesurer la fréquence de coupure du canal de transmission en remplaçant le générateur de bruit par un bouchon de 50Ω dans un premier temps.

☐ Cette bande passante est-elle suffisante pour une transmission numérique à 1Mbit/s d'un signal numérique codé NRZ bipolaire ?

☐ On se fixe un débit de 1Mbit/s. Régler l'oscilloscope afin d'obtenir le tracé du diagramme de l'œil. Diminuer le rapport signal sur bruit afin d'obtenir la fermeture complète de l'œil.

☐ Vérifier alors le concept de Shannon Hartley connaissant le rapport signal sur bruit, le débit binaire et la bande passante du canal de transmission. Pour calculer le rapport signal sur bruit il est indispensable de connaître la valeur efficace de bruit du générateur qui est directement indiqué (RMS) ainsi que celle du signal NRZ bipolaire qui correspond à la valeur de U (Ueff=U...!). Pour effectuer la vérification du concept, on se place volontairement dans 2 cas bien distinct où l'œil est ouvert puis fermé.

Partie B : Modulation & Démodulation ASK/OOK

A propos des modulations ASK/OOK

Les modulations ASK/OOK (Amplitude Shift Keying/On Off Keying) sont très utilisées dans les systèmes de commande à distance et dans les produits de type radio-identification. Elles sont très simples à mettre en œuvre et permettent ainsi d'obtenir des systèmes de transmission économiques.

Le principe repose sur une modulation d'amplitude d'une porteuse sinusoïdale. Contrairement aux modulations d'amplitudes analogiques l'amplitude de la porteuse ne peut prendre que 2 valeurs en fonction du signal modulant. L'expression du signal modulé ASK peut se mettre sous la forme $S_{ASK} = A_k \cdot \cos(2\pi \cdot f_o \cdot t)$ avec

$A_k = A_0$ ou $A_k = A_1$ en fonction du message binaire à transmettre. La figure 1 ci-dessous illustre le principe de cette modulation et le diagramme IQ correspondant.

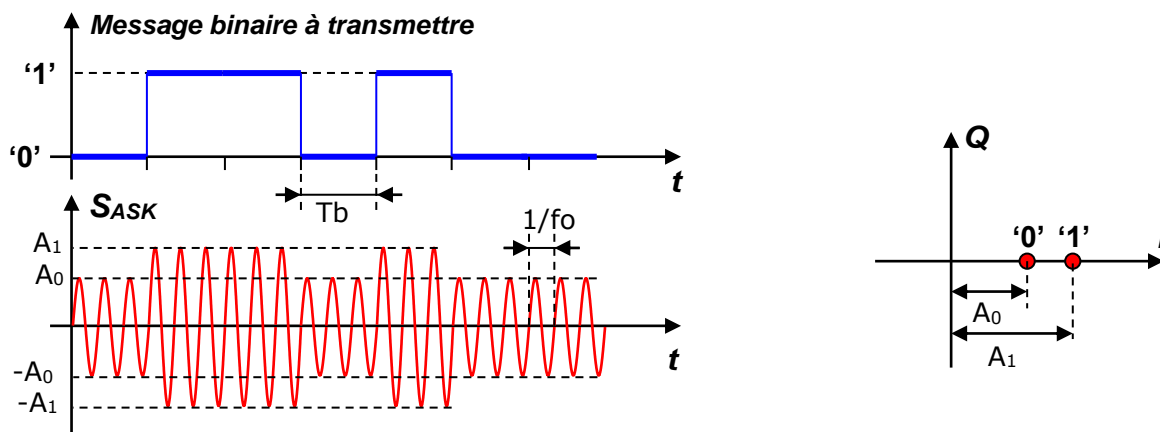


Figure 1 : principe d'une modulation ASK

Dans le cas d'une modulation OOK, la valeur de A_0 est nulle.

□ Prévoir l'allure du spectre d'un signal modulé ASK lorsque le message binaire à transmettre est un signal aléatoire avec une probabilité d'apparition de 0 et 1 identique.

Par ailleurs, en considérant le même message binaire équiprobable, on montre que la valeur efficace du signal modulé peut s'écrire sous la forme :

$$V_{ASK\text{eff}} = \sqrt{\frac{A_0^2 + A_1^2}{4}}$$

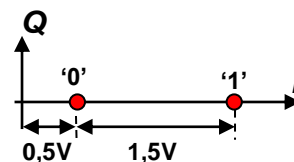
Mise en œuvre de la modulation ASK

Afin de tester les propriétés des modulations ASK on utilise la séquence numérique pseudo aléatoire avec un codage de type NRZ bipolaire constitué de 1000 symboles disponibles dans le générateur AFG3022 (user1).

Bien que le signal modulé ASK puisse être directement délivré par le générateur AFG3022 nous allons réaliser un modulateur en utilisant une maquette didactique à base du multiplieur AD633 dont on rappelle que le coefficient de multiplication $K=0,1V^{-1}$. On utilise en fait un 1/2 modulateur IQ en n'exploitant que la voie I (In phase). La maquette didactique est alimentée entre +9V et -9V.

□ On choisit une fréquence porteuse $f_o=125kHz$ classiquement utilisée pour les systèmes RFID. La porteuse appliquée sur l'entrée Y possède une amplitude de 8Vpp.

□ Configurer le générateur AFG3022 afin d'obtenir une séquence NRZ pseudo aléatoire dont le débit binaire est de 10kbit/s et dont les niveaux permettent d'obtenir le diagramme IQ représenté sur la figure ci-contre. Avant d'effectuer la manip on vous demande de prévoir les amplitudes du signal NRZ à appliquer. Le signal est appliquée sur l'entrée X du multiplieur AD633.



□ Observer et relever le signal modulé ASK dans le domaine temporel en concordance de temps avec le signal modulant NRZ.

□ Effectuer l'analyse FFT du signal modulé ASK en justifiant les choix effectués sur le réglage de la fréquence d'échantillonnage et le niveau de Zoom nécessaire. Afin d'obtenir une visualisation correcte « de l'enveloppe » de la densité spectrale il peut être intéressant d'utiliser la persistance d'affichage dans le mode display.

□ En utilisant les appareils mis à votre disposition, proposer une mesure de la valeur efficace du signal modulé et comparer avec vos prédéterminations théoriques.

□ Que doit-on modifier pour obtenir un signal modulé OOK ?

Mise en œuvre du démodulateur ASK/OOK

Pour effectuer la démodulation d'un signal modulé ASK/OOK on propose le schéma représenté sur la figure 2 suivante. On utilise le dispositif de modulation précédent et l'on choisit une modulation conforme au diagramme IQ représenté sur la figure ci-contre.

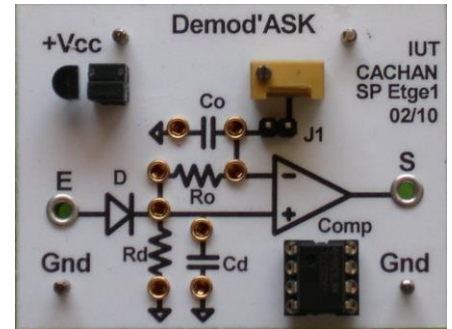
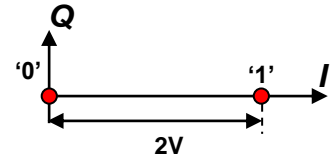
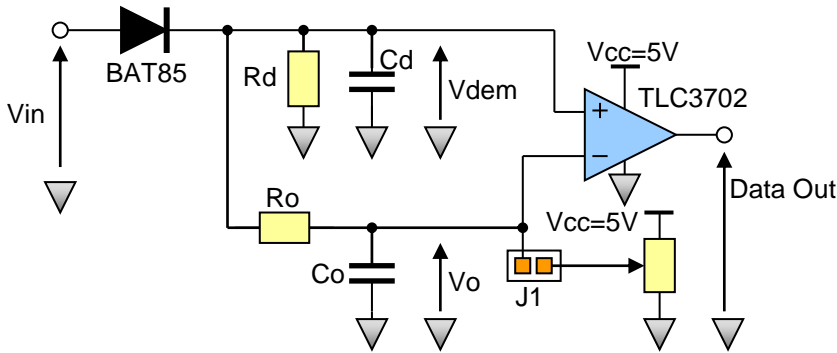


Figure 2 : Démodulateur ASK

- Analyser le fonctionnement du montage précédent en justifiant la valeur des composants retenus. On donne les valeurs suivantes : $R_d=20k\Omega$, $C_d=1nF$, $R_o=330k\Omega$ et $C_o=4,7nF$
- Vérifier que les composants sont correctement positionnés sur le module Demod'ASK et veiller à positionner les différents jumper conformément aux indications de la photo ci-dessus.
- Illustrer le fonctionnement du montage en relevant les différents signaux caractéristiques : V_{in} , V_{dem} , V_o et Data Out.
- En choisissant le signal V_{dem} , vous observerez le diagramme de l'œil sur l'oscilloscope numérique afin de juger de la qualité du signal reçu. La synchro de l'oscilloscope est effectuée en choisissant la donnée initiale et en décalant l'instant du déclenchement sur l'oscilloscope.

Partie C : Modulation & Démodulation BPSK

La modulation BPSK

Le principe de la modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) repose sur le saut de phase d'une porteuse sinusoïdale. L'expression du signal modulé BPSK peut se mettre sous la forme $S_{BPSK} = A \cdot \cos(2\pi \cdot f_o \cdot t + \phi_k) = A \cdot m_k \cdot \cos(2\pi \cdot f_o \cdot t)$ avec $\phi_k = 0/m_k = +1$ ou $\phi_k = \pi/m_k = -1$ en fonction du message binaire à transmettre. La figure 1 ci-dessous illustre le principe de cette modulation et le diagramme IQ correspondant.

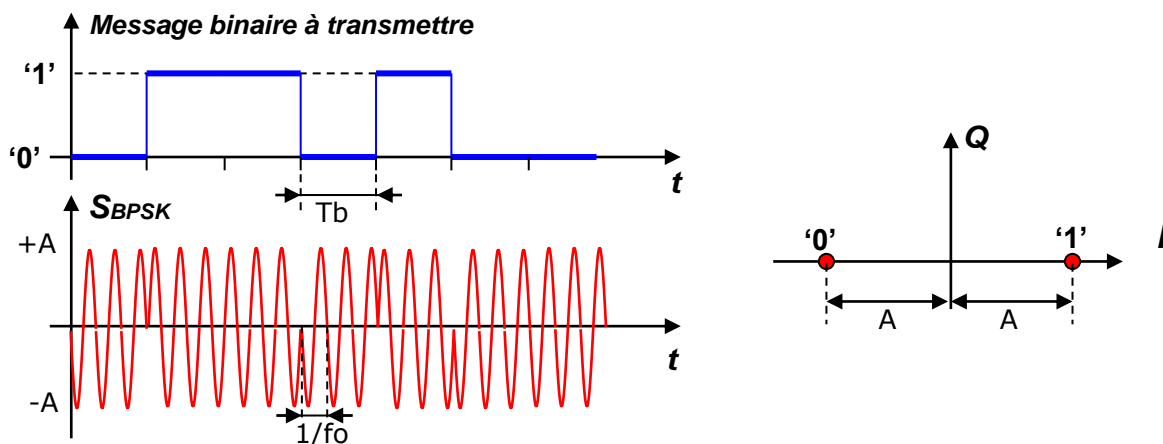
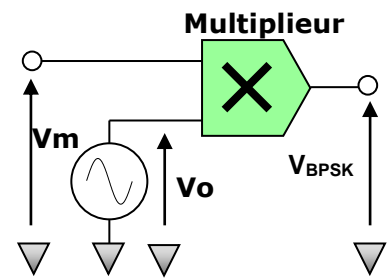
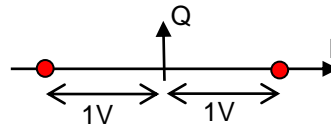


Figure 1 : principe d'une modulation BPSK

Mise en œuvre du modulateur BPSK

Afin de générer le signal modulé V_{BPSK} on met en œuvre le modulateur représenté ci-contre et dans lequel on donne $V_o = E_o \cdot \cos(2\pi \cdot f_o \cdot t)$ avec $f_o = 125\text{kHz}$ conformément au cahier des charges. Il s'agit en fait d'un 1/2 modulateur IQ réalisé par le mini module multiplieur AD633. Le signal V_m est un signal NRZ bipolaire prenant les valeurs $\pm U$ avec $U = 2\text{V}$ avec un débit de 5kbit/s.

□ Quelle doit être l'amplitude E_o afin d'obtenir une modulation BPSK conforme au diagramme IQ suivant ?



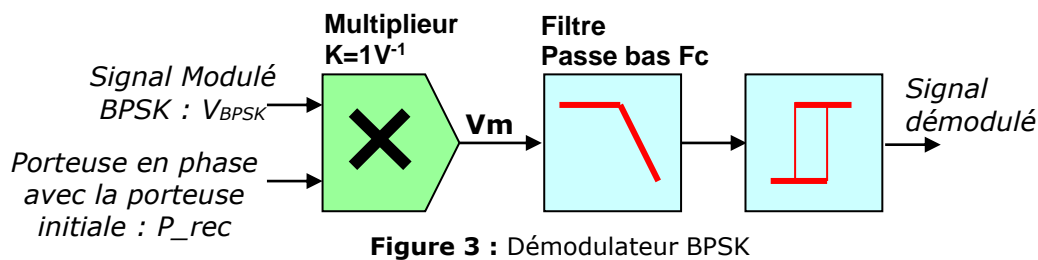
□ Configurer le générateur AFG3022 afin de répondre aux indications précédentes. On utilise la voie CH1 pour la porteuse et la voie CH2 pour le signal NRZ bipolaire (Forme d'onde arbitraire user1 composée de 1000 bits). La maquette didactique est alimentée entre +9V et -9V.

□ Observer et relever le signal modulé BPSK dans le domaine temporel en concordance de temps avec le signal modulant NRZ pseudo aléatoire.

□ Effectuer l'analyse FFT du signal modulé BPSK en justifiant les réglages adoptés. Justifier le résultat obtenu.

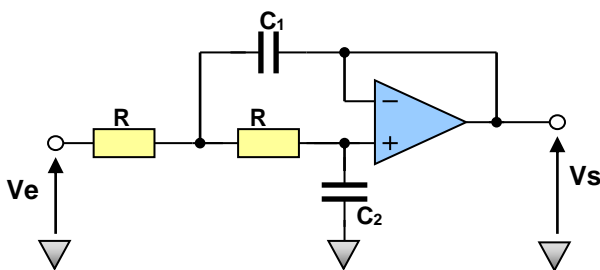
Principe & analyse théorique du démodulateur BPSK

Le schéma synoptique du démodulateur est représenté ci-dessous. Il s'agit d'une démodulation synchrone qui correspond en fait à la moitié d'une démodulation IQ. Dans cette partie nous allons démontrer les performances de ce démodulateur.



□ Montrer que ce montage permet de récupérer l'information numérique initiale. On suppose que le signal modulé BPSK récupéré a le même niveau que celui en sortie du modulateur. La porteuse récupérée est de la forme $P_{rec} = P_o \cdot \cos(2\pi f_o \cdot t)$.

□ Pour la réalisation du filtre passe bas du 2nd ordre on propose une cellule de Sallen & Key dont le schéma et les relations de fonctionnement sont rappelés ci-dessous.



$$\frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)} = \frac{1}{1 + 2jRC2\omega + (j\omega)^2 R^2 C_1 C_2}$$

$$\text{Pulsation propre } \omega_0 = \frac{1}{R \cdot \sqrt{C_1 C_2}}$$

$$\text{Coefficient d'amortissement } m = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

Compte tenu des signaux numériques on opte pour un réglage de type approximation de Bessel (Catégorie de filtre à phase linéaire) en choisissant $m = 0,862$ et une fréquence dans la bande passante de 5kHz (pour une atténuation de 1dB) correspondant à une fréquence $f_o = 7,5\text{kHz}$. On propose les valeurs suivantes : $R = 16\text{k}\Omega$ $C_1 = 1,5\text{nF}$ $C_2 = 1,2\text{nF}$

□ On considère cette fois-ci qu'il existe un déphasage entre la porteuse initiale V_o et la porteuse reconstituée P_{rec} . On note donc $P_{rec} = P_o \cdot \cos(2\pi f_o \cdot t - \varphi)$. Montrer dans ce cas que l'amplitude du signal démodulé dépend de la valeur de φ .

Mise en œuvre effective du démodulateur BPSK

Pour la mise en œuvre effective du démodulateur BPSK, on propose de changer le multiplieur analogique par un multiplieur par +/-1 dont le schéma et la photo de la maquette correspondante sont données ci-dessous. L'interrupteur analogique utilisé est le circuit DG417 dont la logique de commande est décrite ci-dessous.

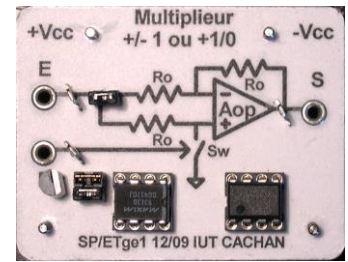
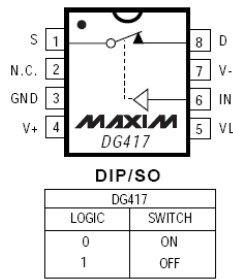
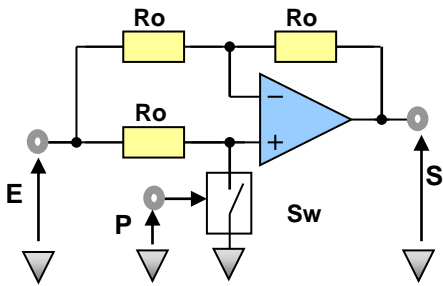


Figure 5 : Multiplieur par +/- 1

□ Analyser rapidement le fonctionnement de ce montage et montrer que son utilisation est possible dans le cadre de la démodulation BPSK.

□ Afin de mettre en œuvre la totalité du démodulateur, on vous propose une maquette avec 3 minis modules. Dans un premier temps nous allons d'abord caractériser le fonctionnement du démodulateur BPSK en ne câblant que l'ensemble multiplieur par +/-1 et le filtre passe bas du 2nd ordre.

Une fois ces 2 fonctions associées et caractérisées nous effectuerons le test de la liaison complète. Le démodulateur est alimenté sous +/-9V.

□ Illustrer le fonctionnement du démodulateur BPSK en utilisant dans un premier temps la maquette multiplieur par +/-1 et le filtre passe bas de Sallen & Key. La porteuse coté démodulation en phase avec la porteuse initiale est obtenue en utilisant la sortie TTL du générateur AFG3022.

□ Tracer alors le diagramme de l'œil obtenu à la sortie du filtre. Que se passe-t-il si l'on déphase la porteuse coté démodulation en jouant sur le paramètre phase du générateur AFG3022 ? Montrer que le cas le plus critique correspond à un déphasage proche de 90°.

On s'intéresse maintenant aux performances de ce démodulateur en présence de bruit sur le signal modulé.

□ En utilisant un générateur de bruit blanc (hp33120/33250/..) et un coupleur résistif avec 2 résistances de 1kΩ en guise de sommateur, appliquer sur l'entrée du démodulateur un signal modulé BPSK bruité. Illustrer alors le bon fonctionnement de ce modulateur pour différentes valeurs du rapport signal sur bruit. Pour quelles raisons ce montage se comporte aussi bien en présence de bruit ?

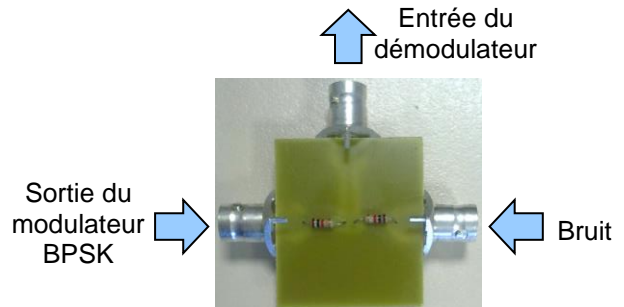


Figure 6 : Coupleur pour l'ajout de bruit

Afin de mettre en forme le signal démodulé et obtenir un signal numérique on utilise le montage comparateur à hystérésis suivant.

□ Effectuer rapidement la caractérisation de ce montage en relevant la caractéristique de transfert.

□ Connecter la sortie du démodulateur à l'entrée de ce montage et vérifier le bon fonctionnement de votre liaison.

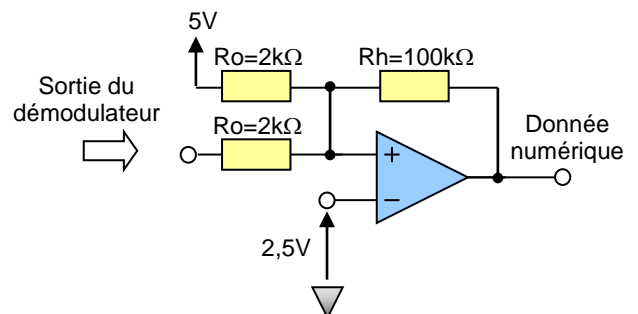


Figure 7 : Mise en forme du signal numérique