

***Electron*** S.R.L.

Design  
Production &  
Trading of  
Educational  
Equipment



---

**ELECTRON S.R.L.** VIA CASCINA TORCHIO I-26833 MERLINO (LO) ITALIE - TEL. 39(Italie) 02(Milan) 9065 9200  
FAX 9065 9180 - E-mail: [electron@electron.it](mailto:electron@electron.it) Web: [www.electron.it](http://www.electron.it) Rev 05/06  
Les caractéristiques peuvent changer sans avis

# **SOMMAIRE**

## **1 - GENERAL**

## **2 - IMPULSION AND MODULATION PAR IMPULSIONS CODEES**

- 2.1 – Révision des concepts de base
- 2.2 – Echantillonnage
- 2.3 – Bande passante et spectres
- 2.4 – Théorème de Shannon
- 2.5 – La fréquence de Nyquist
- 2.6 – Aliasing

## **3 – MODULATION ANALOGIQUE D’IMPULSIONS: PAM, PWM, PPM**

- 3.1 – Modulation d’impulsion en amplitude
- 3.2 – Modulation de largeur d’impulsions
- 3.3 – Modulation d’impulsions en position
- 3.4 – Multiplexage temporel

## **4 – DESCRIPTION DE L’UNITE DIDACTIQUE**

## **5 - EXERCICES**

- 5.1 – EXERCICE No.1 – MULTIPLEX PAM PAR DIVISION DE TEMPS
- 5.2 – EXERCICE No.2 – MODULATION DE LARGEUR D’IMPULSIONS
- 5.3 – EXERCICE No.3 – MODULATION D’IMPULSIONS EN POSITION
- 5.4 – EXERCICE No.4 – TRANSMISSION DANS UN ENVIRONNEMENT BRUYANT

## **6 – RECHERCHE DES PANNES SIMULEES**

## **7 – LISTE DES PANNES SIMULABLES (pour l’instructeur seulement)**

## 1 - GENERALITES

Cette unité didactique est une collection complète de modules de circuits contenus sur une seule carte de grande taille. Les modules permettent de mettre en place des systèmes complets de test de transmission et d'expérimenter les techniques les plus diffusées de modulation d'impulsions.

En plus des modules de circuits de base pour expérimenter les différentes techniques de transmission, le circuit comprend aussi des dispositifs auxiliaires comme les générateurs d'horloge et de synchronisations, les sources de signaux analogiques et numériques etc., de manière à rendre les travaux expérimentaux simples et efficaces. Chaque bloc fonctionnel ou module est clairement identifiable par étiquettes ou indications en sérigraphie.

### Caractéristiques:

- Générateur quadruple de signaux de basse fréquence. Quatre sinusoïdes synchrones sont générées, chacune d'elles réglables séparément en niveau. Elles doivent être utilisées comme source de signaux de test à fréquence audio.
- Multiplexeur et Modulateur (PAM-TDM), opérant sur quatre sources analogiques indépendantes (canaux)
- Récepteur et démultiplexeur PAM, fonctionnant comme le récepteur d'un système de transmission PAM-TDM
- Codeur PWM/PPM (Modulation d'impulsions en largeur et en position)
- Décodeur PWM/PPM
- Simulation de pannes par 8-microswitches cachés sous un couvercle accessible à l'instructeur. la simulation de pannes sous le contrôle d'un PC est possible au moyen de l'Interface optionnelle B1178

### Sujets d'étude:

- Les principes d'échantillonnage et de multiplexage temporel
- Les techniques de modulation PAM, PWM et PPM
- Erreur de quantification, bruit de quantification
- Bande passante et spectres
- Le Théorème de Shannon et la Fréquence de Nyquist
- Dégradation des systèmes de transmission à cause du bruit (en utilisant le simulateur de canal de transmission B4350)
- Recherche des pannes dans les systèmes de transmission

L'unité didactique est fabriquée suivant des normes adéquates en ce qui concerne la sécurité du personnel et de l'appareil lui-même. L'unité est alimentée par une source de basse tension et de faible puissance. Utiliser l'alimentation B4192 pour une limitation de courant adéquate et pour la protection contre les surcharges.

Les entrées et les sorties du module sont raisonnablement protégées contre les accidents dus à mauvaise manipulation.

L'unité didactique est complète de câbles accessoires et de manuel d'instructions.

## 2 - MODULATION D'IMPULSION ET D'IMPULSIONS CODEES

### 2.1 - Révision des concepts de base

Les données expérimentales et les fonctions mathématiques sont souvent affichées comme **courbes continues** même si un nombre fini de **points discrets** à été utilisé pour construire le graphique. Si ces points discrets, ou échantillons, ne sont pas trop distants, une courbe continue peut être dessinée, et les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées à un degré raisonnable de précision. On peut pourtant dire que l'affichage continu est convenablement décrit par les points d'échantillonnage seuls.

De la même manière, un signal électrique répondant à certaines conditions peut être reproduit entièrement à partir d'un ensemble approprié d'échantillons instantanés. Si tel est le cas, et théorie de l'échantillonnage nous dira les conditions nécessaires, nous avons besoin de transmettre seulement les valeurs des échantillons tels qu'ils se présentent au lieu d'envoyer un signal continu. Ceci est la **modulation d'impulsions**.

La principale distinction entre la modulation d'impulsions et la modulation d'une onde porteuse est la suivante: Dans la modulation d'une onde porteuse, quelque paramètre de l'onde modulée varie de façon continue avec le message; dans la modulation d'impulsions, quelque paramètre de chaque impulsion est modulé par un échantillon particulier du message. D'habitude les impulsions sont tout à fait courts comparés à l'intervalle de temps entre eux, et donc une onde d'impulsions modulés est "off" la plupart du temps.

En raison de cette propriété, la modulation d'impulsions offre deux avantages potentiels sur la modulation CW. D'abord, la puissance transmise peut être concentrée dans des bursts courts plutôt que d'être délivrée de façon continue. Cela donne à l'ingénieur de système des majeures possibilités de choix des équipements, puisque certain dispositifs, comme les tubes à micro-onde de haute puissance et les lasers, sont utilisables seulement par impulsions. Deuxièmement, les intervalles de temps entre les impulsions peuvent être remplis des valeurs des échantillons d'autres messages, de ce fait permettant la transmission de beaucoup de messages sur un système de communications. Tel multiplexage dans le domaine temporel est connu comme **multiplexage temporel** (TDM).

Une autre distinction entre la modulation d'impulsions et CW est que l'onde d'impulsions peut contenir un appréciable contenu de signal continu et de basse fréquence. Efficace transmission pourtant implique une deuxième opération, c'est à dire Modulation CW, pour fournir une complète transposition en fréquence. Dans ce contexte, la modulation d'impulsions est une technique **de traitement des messages** plutôt que de modulation dans le sens habituel du terme. En fait, l'utilisation la plus courante de la modulation d'impulsions est le traitement des messages pour le TDM.

Il y a deux types fondamentaux de modulation d'impulsions: **analogique**, comme amplitude d'impulsion, largeur d'impulsion position d'impulsion, qui est similaire à la modulation linéaire, et **numérique** ou modulation d'impulsions **codés**, qui n'a pas d'équivalent CW.

Pour les deux types de communication par impulsions, l'opération clé consiste à extraire les valeurs des échantillons de la forme d'onde du message. Nous allons donc commencer notre révision de la théorie de ce point.

## 2.2 – Echantillonnage

Considérons le simple circuit de la Fig.1A. Le commutateur périodiquement se déplace entre les deux contacts à la **fréquence d'échantillonnage**  $f_s$ . L'intervalle de temps entre deux impulsions successifs d'échantillonnage est la **période d'échantillonnage**  $T_s = 1/f_s$ .

Le temps pour lequel le contact reste en position ON est indiquée par T.

La figure 1B montre le motif de la forme d'onde résultante: la forme d'onde d'origine apparaît "hachée" au taux de fonctionnement du commutateur, mais encore "substantiellement reconnaissable". Nous étudierons plus tard quelles sont les conditions pour s'assurer que le contenu d'information du signal original n'est pas perdu.

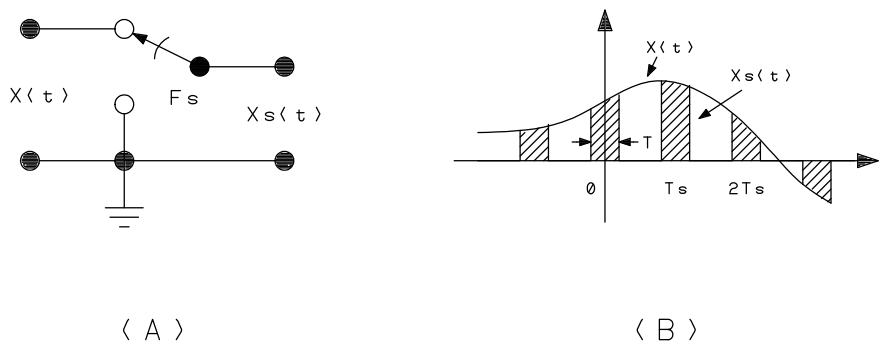


FIG. 1 – THE PRINCIPLE OF SAMPLING AN ANALOGUE SIGNAL  
4310APF1

## 2.3 – Bande passante et spectres

Il apparaît clairement de la Fig. 1B que la présence d'impulsions avec arêtes vives dans le signal de sortie implique que le spectre du signal échantillonné est beaucoup plus grand que l'original et pourtant le canal de transmission devra

avoir une bande passante beaucoup plus grande de celle nécessaire pour le signal original.

Heureusement les supports de transmission à large bande deviennent de plus en plus accessibles (micro-ondes, laser, fibres optiques etc.) et aussi, le «gaspillage» de bande passante inhérent aux systèmes de modulation d'impulsions est équilibré par d'autres avantages de cette technique, comme on verra plus tard.

L'opération effectuée par le commutateur s'appelle dans une variété de manières: commutation unipolaire, chopping unipolaire, etc. Un Ingénieur de la Communication dit que le commutateur effectue un "mixage non linéaire" du signal original avec une onde carrée de rapport cyclique bas.

La Figure 2A représente un spectre de fréquence possible pour notre signal original, limité en bande à  $f_M$ . Après le mixage non linéaire avec le signal carré à la fréquence d'échantillonnage  $f_s$ , le spectre deviendra celui de la Fig. 2B. L'enveloppe des composants du spectre est la courbe à cloche la bien connue, typique des spectres des ondes carrées.

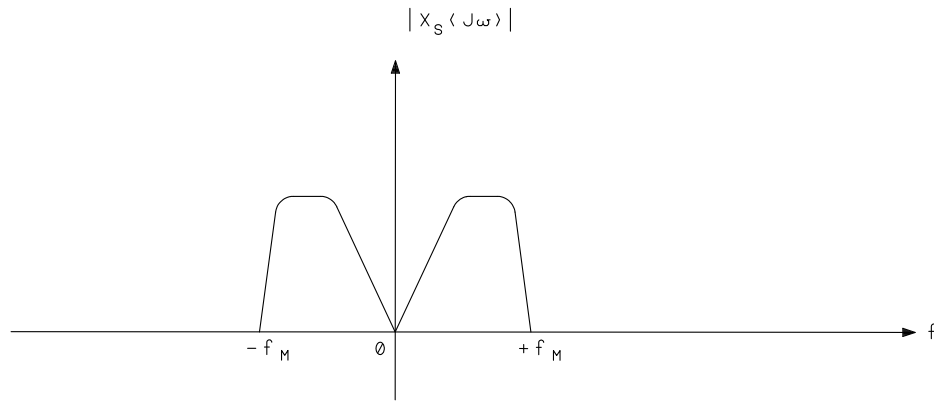


FIG.2A - FREQUENCY SPECTRUM OF THE ORIGINAL SIGNAL  $X(t)$  (EXAMPLE)

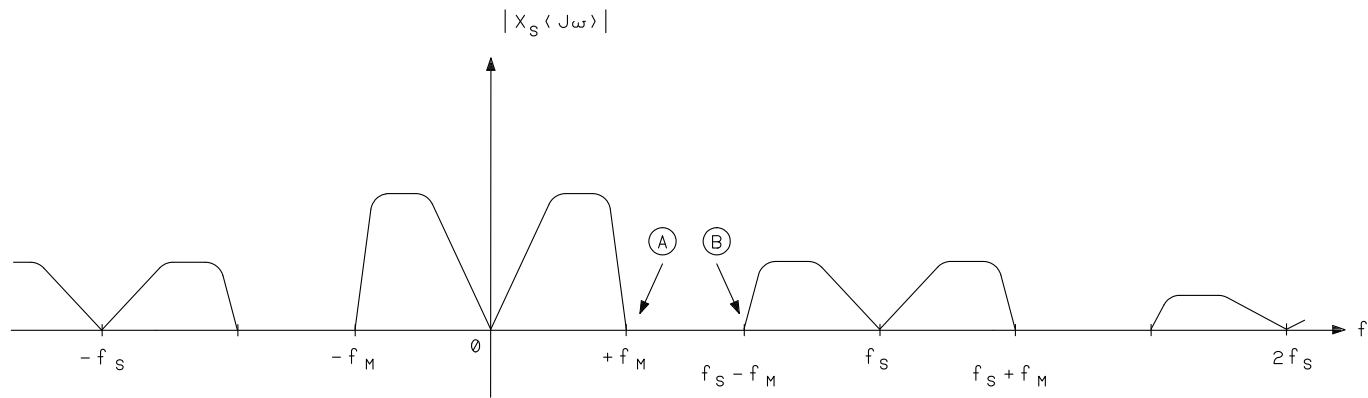


FIG.2B - SPECTRUM OF THE SIGNAL OBTAINED BY SAMPLING  $X(t)$  AT FREQUENCY  $f_s$ .

4310APF2 ( A ) AND ( B ) = TEXT REFERENCES )

## 2.4 – Théorème de Shannon

C.E. Shannon est le père de la **Théorie de l'Information**. Le théorème qui porte son nom est aussi appelé le **théorème d'échantillonnage** et très en bref il établit deux conditions fondamentales pour la préservation du contenu d'information original d'un signal subissant un processus d'échantillonnage:

- La largeur d'échantillonnage ( $T$  dans la Fig. 1B) doit être courte, tendant vers zéro.
- L'intervalle d'échantillonnage doit être tel que la fréquence d'échantillonnage ( $f_s=1/T$ ) est au moins égale au double de la composante de fréquence maximale dans le spectre du signal original.

La seconde des deux conditions est la plus importante. Elle établit le taux d'échantillonnage minimum pour qu'un signal original donné soit correctement transmis ou, au contraire, étant donné un système d'échantillonnage à la fréquence  $f_s$ , elle établit la composante de fréquence maximum transmissible pour le signal original.

Une démonstration de ce théorème implique des mathématiques lourdes et est au-delà de la portée de ce manuel. Une explication intuitive sera toutefois donnée dans le paragraphe suivant.

## 2.5 – La fréquence de Nyquist

Le fréquence d'échantillonnage répondant aux conditions du paragraphe précédent s'appelle la fréquence **de Nyquist**, nom d'un autre mathématicien qui a travaillé sur ce sujet.

Pour en comprendre le signficat, observer la Fig. 2B dans laquelle nous supposons de diminuer graduellement la fréquence d'échantillonnage  $f_s$ . Un point est atteint où A et B coïncident. En descendant encore, les deux portions du spectre tendent à se chevaucher et confondre. La reconstruction du signal ne sera pas possible à partir de ce moment-là.

La situation limite est où A et B coïncident, c'est à dire quand

$$f_m = f_s - f_m \text{ ou } f_s = 2f_m$$



## 2.6 - Aliasing

Avec les mêmes arguments du paragraphe ci-dessus il est entendu que les signaux à être transmis sur un système d'échantillonnage DOIVENT être à bande limitée.

Un signal est d'habitude considéré à bande limitée quand le contenu en fréquence au dessus de  $f_m$  (voir Fig. 2A) est faible et probablement sans importance pour transmettre l'information. Cette condition n'est pas suffisante quand l'échantillonnage est concerné puisque tout contenu en fréquence au dessus de  $f_m$  générera inévitablement un chevauchement des composantes spectrales. Lors de la reconstruction, les fréquences qui à l'origine sont à l'extérieur de la bande nominale du message apparaîtront à la sortie sous la forme de fréquences beaucoup plus basses.

Ce phénomène de translation de fréquence vers le bas se produit quand une composante de fréquence est sous-échantillonnée, c'est-à-dire  $f_s < 2f_m$ , et on lui donne le nom de **aliasing**. L'effet de l'aliasing est beaucoup plus grave des fréquences parasites qui passent par filtres de reconstruction non idéaux, parce que ces dernières tombent à l'extérieur de la bande du message, alors que les composantes alias peuvent tomber dans la bande du message. Le filtrage du message autant que possible avant de l'échantillonnage et, si nécessaire, l'échantillonnage à fréquence beaucoup plus grande de la Fréquence nominale de Nyquist combattent l'Aliasing.

Un autre cause importante de distorsion dans les systèmes d'échantillonnage, liée au phénomène de l'Aliasing est que la première condition du Théorème de Shannon ne peut être respectée en pratique, puisque les systèmes réels fonctionnent avec impulsions d'échantillonnage de durée courte mais non nulle. Cela signifie que le spectre du signal échantillonné sera différent du signal idéal de la Fig. 2B. En particulier des "queues" apparaîtront dans l'enveloppe originale en forme de cloche des amplitudes du spectre. (Pour comprendre cela, si nécessaire, revoir dans votre manuel de théorie les Spectres de Fourier pour les trains d'impulsions carrés de largeur différente).

Les queues se chevaucheront et généreront des "battements" indus lors de la reconstruction, avec un processus similaire à l'aliasing. En d'autres termes on peut dire que les signaux carrés utilisés pour l'échantillonnage contiennent des harmoniques qui interfèrent avec le signal échantillonné, produisant des termes de basse fréquence non désirés.

### 3 – MODULATION ANALOGIQUE D'IMPULSIONS: PAM, PWM et PPM

Si un message est convenablement décrit par les valeurs des échantillons, il peut être transmis par modulation analogique d'impulsions, où les valeurs des échantillons modulent directement un train d'impulsions périodiques avec une impulsion pour chaque échantillon. Il y a beaucoup de variétés de modulation analogiques d'impulsions et la terminologie n'a pas été normalisée. Toutefois, les trois types qu'on va examiner sont désignés d'habitude comme **modulation d'impulsion en amplitude (PAM)**, **modulation de largeur d'impulsions (PWM)** et **modulation d'impulsions en position (PPM)**. PWM et PPM sont aussi regroupés ensemble sous le titre général de **modulation d'impulsions en temps**.

La Figure 3 montre un message typique et la correspondante onde d'impulsions modulés. Pour plus de clarté, les impulsions sont montrées comme rectangulaires, et la durée des impulsions a été grossièrement exagérée.

De plus, les ondes réelles modulées sont légèrement retardées en temps comparé au message, puisque les impulsions ne peuvent pas être générées avant de les instants d'échantillonnage.

Comme montré dans la figure, le paramètre de l'impulsion modulée - amplitude, durée ou position relative - varie en proportion direct des valeurs des échantillons.

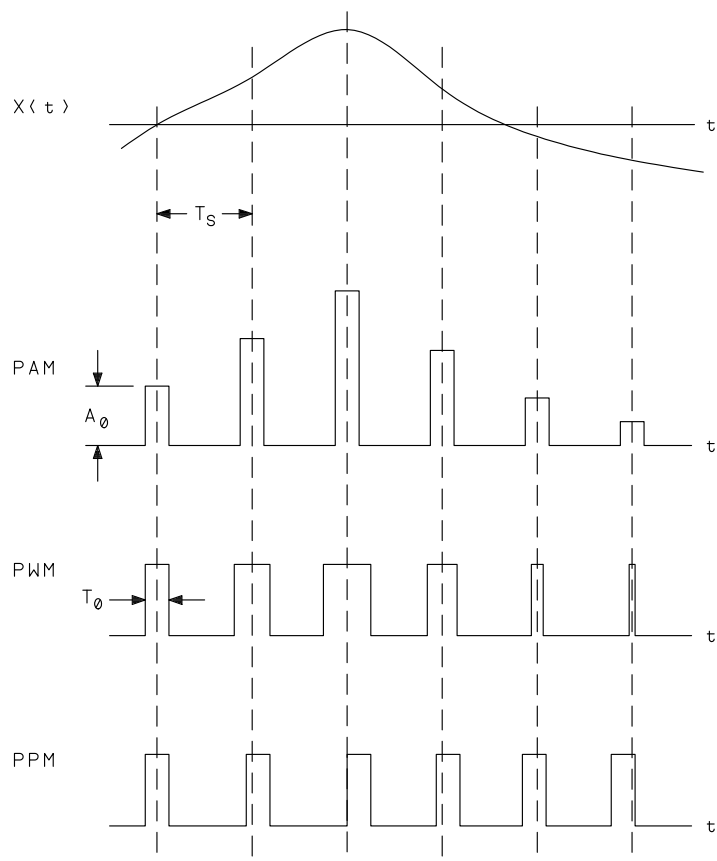


FIG.3 - TYPES OF ANALOG PULSE MODULATION.

4310APF3

### 3.1 – Modulation d'impulsion en amplitude

En PAM la forme d'onde se compose d'impulsions unipolaires ou bipolaires dont les amplitudes de crête sont proportionnelles aux valeurs instantanées des échantillons du message. Le signal PAM est souvent utilisé comme l'entrée d'un Convertisseur A/N qui changera les signaux analogiques en codes binaires.

Certain parallèles peuvent être établis entre PAM et Modulation d'amplitude linéaire d'une porteuse: dans les deux cas l'amplitude d'un signal transporte les informations du message. La PAM en effet souffre des mêmes inconvénients de l'AM dans ce qui concerne l'atténuation de transmission, la distorsion et le bruit.

#### Récupération du signal PAM

Quand le signal PAM est transporté sur les lignes téléphoniques, un simple filtre passe-bas dans le récepteur atténuera la fréquence des impulsions et remplira les intervalles entre les impulsions suffisamment pour rétablir la fidélité du signal de message. Quand le signal PAM est utilisé pour moduler directement une fréquence porteuse plus élevée pour la transmission radio, le Détecteur AM au niveau du récepteur agira comme le filtre passe-bas pour supprimer la fréquence des impulsions. Encore une fois, pas de fidélité est perdue. La seule précaution à observer dans le processus de récupération est de s'assurer que le filtre passe-bas ait une réponse en fréquence plate sur l'entière gamme de fréquence de la bande base et assure une atténuation suffisante à la fréquence des impulsions.

## 3.2 – Modulation de largeur d'impulsions

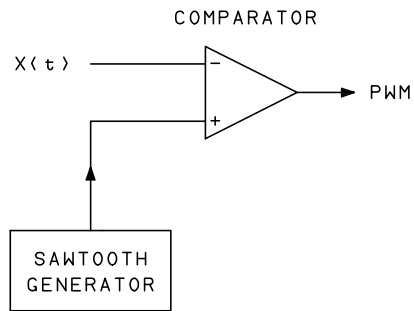
En PWM l'amplitude de chaque échantillon du signal original est codée dans la durée d'une impulsion correspondante. La durée d'une impulsion est un paramètre qui est relativement immune des dégradations de la transmission (atténuation et bruit); les avantages de la PWM sur la PAM sont les mêmes avantages que la FM analogique offre sur l'AM conventionnelle.

La figure 4 montre le principe de fonctionnement d'un modulateur PWM.

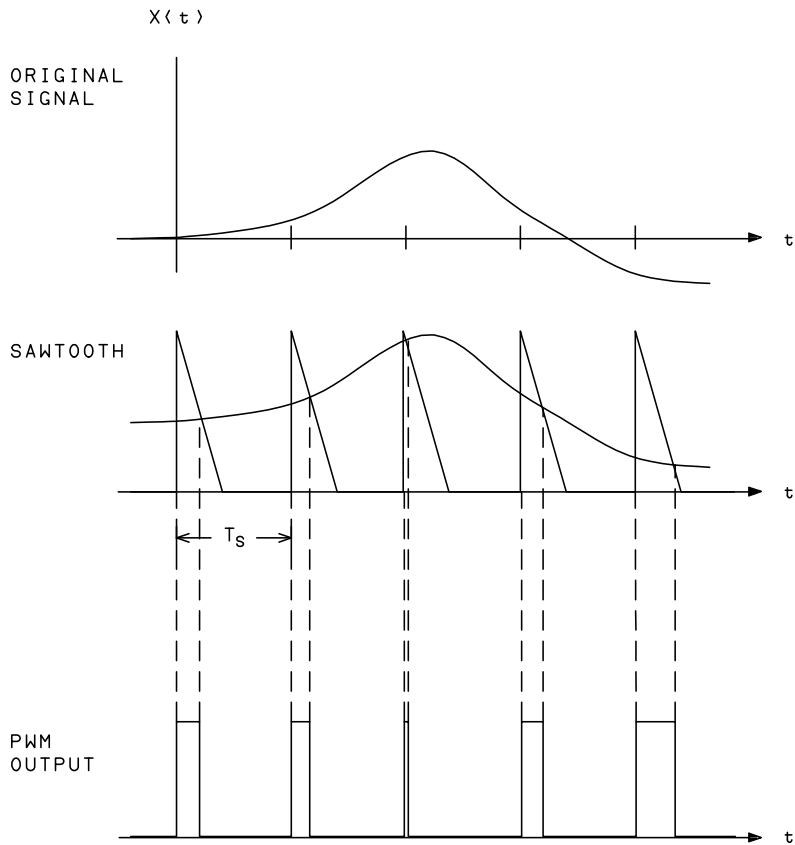
### Récupération PWM

Quand le signal PWM arrive à sa destination sur des lignes téléphoniques, le circuit de récupération utilisé pour décoder le signal original est un simple intégrateur (filtre passe-bas). La charge sur le condensateur de filtrage sera la tension moyenne dans le cycle de l'onde PWM. Quand la largeur d'impulsion est large, soit 95% du temps d'un cycle, la tension de charge sur le condensateur sera environ 95% de la tension de crête de la porteuse. Quand la largeur d'impulsion est étroite, soit 5% du temps d'un cycle, la tension de charge sur le condensateur sera environ 5% de la tension de crête de la porteuse. La tension de sortie récupérée changera en amplitude en correspondance de la largeur des impulsions de l'onde PWM.

Quand l'onde PWM arrive à sa destination au moyen d'un signal rayonné par une antenne, il s'agit d'un signal de porteuse double-bande latérale qui doit d'abord être détecté par un redresseur à diodes et ensuite passé à travers un intégrateur (filtre passe-bas). Le détecteur en tous les récepteurs radio AM est tout ce qui est nécessaire pour accomplir la tâche. Cela signifie que le détecteur dans un normal Récepteur radio AM peut décoder le signal PWM transmis en AM sans autre modification du circuit.



(A)



(B)

FIG. 4 - PWM GENERATION. (A) = BLOCK DIAGRAM OF THE MODULATOR  
4310APF4 (B) = WAVEFORMS

### 3.3 – Modulation d'impulsions en position

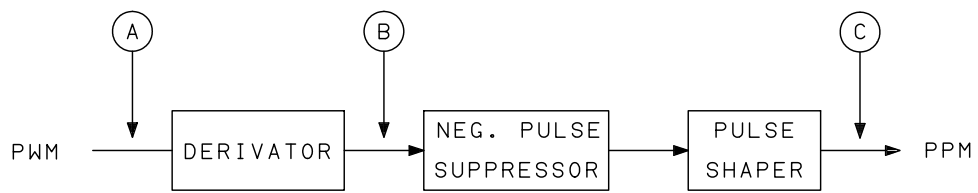
En PPM l'amplitude de chaque échantillon du signal original est convertie dans la position d'une impulsion par rapport à une référence préétablie.

Dans les systèmes de PPM le signal analogique est changé dans un Signal PWM en premier, et ensuite le signal PWM est converti dans un signal **modulé en position d'impulsion**. Cette double modulation dans l'émetteur peut sembler redondante, mais l'amélioration en immunité au bruit vaut bien l'effort supplémentaire. La raison pour laquelle le signal original PWM n'est pas utilisé devient évidente quand nous comparons la présence d'erreurs au récepteur sous des conditions de bruit élevé pour les trois formes de modulation (PAM, PWM et PPM). La transmission PPM est de loin supérieure aux deux autres systèmes dans la réjection du bruit qui introduit des erreurs. C'est son principal avantage. Les principaux inconvénients sont un circuit plus complexe et des coûts plus élevés.

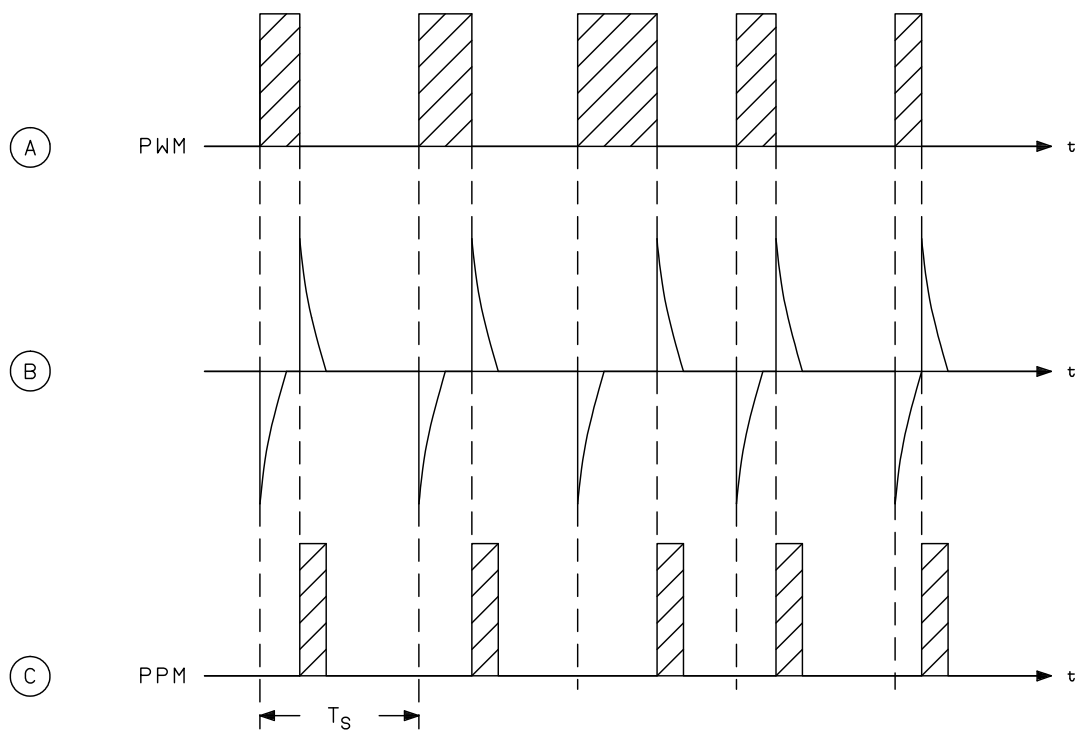
Le signal PWM de la Fig. 5 sera utilisé comme signal d'entrée d'un dérivateur inverseur suivi d'un bloc supprimant les impulsions négatives et un autre bloc qui met en forme et transmet le reste.

#### Récupération de la transmission PPM

Au niveau du récepteur, une impulsion de référence à fréquence fixe est générée à partir du signal PPM d'entrée pour activer une bascule (multivibrateur bistable). Le signal PPM est aussi appliqué à la broche de RESET de la bascule pour l'arrêt. Cela recrée le signal PWM, qui à son tour peut être démodulé par un simple filtre passe-bas (moyenneur de tension).



< A >



< B >

FIG.5 - GENERATING PPM FROM PWM. < A >=BLOCK DIAGRAM. < B >=WAVEFORMS.

4310APF5



### 3.4 – Multiplexage temporel (TDM)

Dans ce paragraphe il est fait référence au principe de multiplexage des signaux PAM. Le même principe s'applique au multiplexage des signaux PWM et PPM.

Le but initial de PAM était d'économiser la dissipation de puissance dans les amplificateurs de basse fréquence.

L'utilisation d'une impulsion de faible rapport cyclique dans un système PAM peut laisser l'amplificateur (et le système) inactif pendant, disons, 75% du temps. Il est souhaitable que l'amplificateur travaille pendant le 25% du temps, mais il est également souhaitable de permettre au système d'exécuter d'autres fonctions pour le restant 75% du temps. Cette application s'appelle à temps partagé ou multiplexage temporel (TDM).

Le système de multiplexage de la Fig. 6 permet de transporter quatre signaux PAM sur une seule paire de fils en même temps sans interférence et sans augmenter la fréquence de bande base au-delà de celle d'un message individuel. Chacun des quatre signaux de message dans la Fig. 6 contient toutes les fréquences entre 300Hz et 3KHz; en tant que telle, la figure peut représenter quatre conversations téléphoniques vocales. La sortie du générateur d'impulsions d'horloge est une onde carrée de rapport cyclique 25% à 8KHz et est utilisée pour déclencher Q1, un commutateur analogique. La même impulsion de déclenchement est retardée de 90° (un quart du cycle) et est utilisée pour déclencher le commutateur Q2. Elle est puis retardée un autre 90° (180° au total) pour allumer Q3, et Q4 est déclenché après un retard d'un autre quart de cycle. Noter que chaque amplificateur est sous tension pendant 25% du temps. Les quatre signaux PAM sont ajoutés linéairement dans l'amplificateur additionneur, qui a une forme d'onde de sortie correspondant à la somme en temps partagé des tensions dans la Fig. 7. La gamme de fréquence de la bande base de sortie contient toutes les fréquences entre 300Hz et 3KHz plus la fréquence du signal de déclenchement de  $8 \times 4 = 32\text{KHz}$ .

#### Récupération d'une transmission TDM:

Quand un signal TDM est transporté sur un réseau filaire vers le récepteur, il doit être accompagné par le cadrage ou information de synchronisation pour permettre au récepteur de réattribuer correctement l'information de chaque tranche de temps au canal de destination.

L'information nécessaire consiste à la synchronisation de trame et la synchronisation de tranche de temps. La première informe le récepteur du début de chaque nouveau cycle, la seconde de chaque nouvelle tranche de temps (canal) dans le cadre.

Dans les premiers systèmes cette information était transportée renonçant à un canal vocal pour porter l'information de Synchronisation de trame (signalisation par Canal Associé), tandis que dans d'autres systèmes l'information de synchronisation est incorporée dans les données (signalisation Canal par Canal). Dans la plupart des systèmes modernes l'information de synchronisation et

autres signaux auxiliaires pour plusieurs troncs TDM sont portés sur une voie de transmission séparée (signalisation par Canal Commun).

Le récepteur a un oscillateur de déclenchement synchronisé avec une sortie qui est retardée dans la même manière que celle utilisée dans le modulateur. Dans notre exemple, un tronc PAM quatre canaux eut l'impulsion de déclenchement de chaque canal retardée d'un facteur de 90°. le Canal 1 aurait un commutateur analogique comme l'émetteur, qui serait activé quand le signal de message du canal 1 est entré dans le système. les Canaux 2, 3 et 4 seraient activés à leur tour pour permettre le passage des respectifs signaux de message. Une fois les quatre signaux ont été séparés en circuits individuels, un filtre passe-bas (intégrateur) permettra de reconstruire l'information pulsée dans un signal analogique.

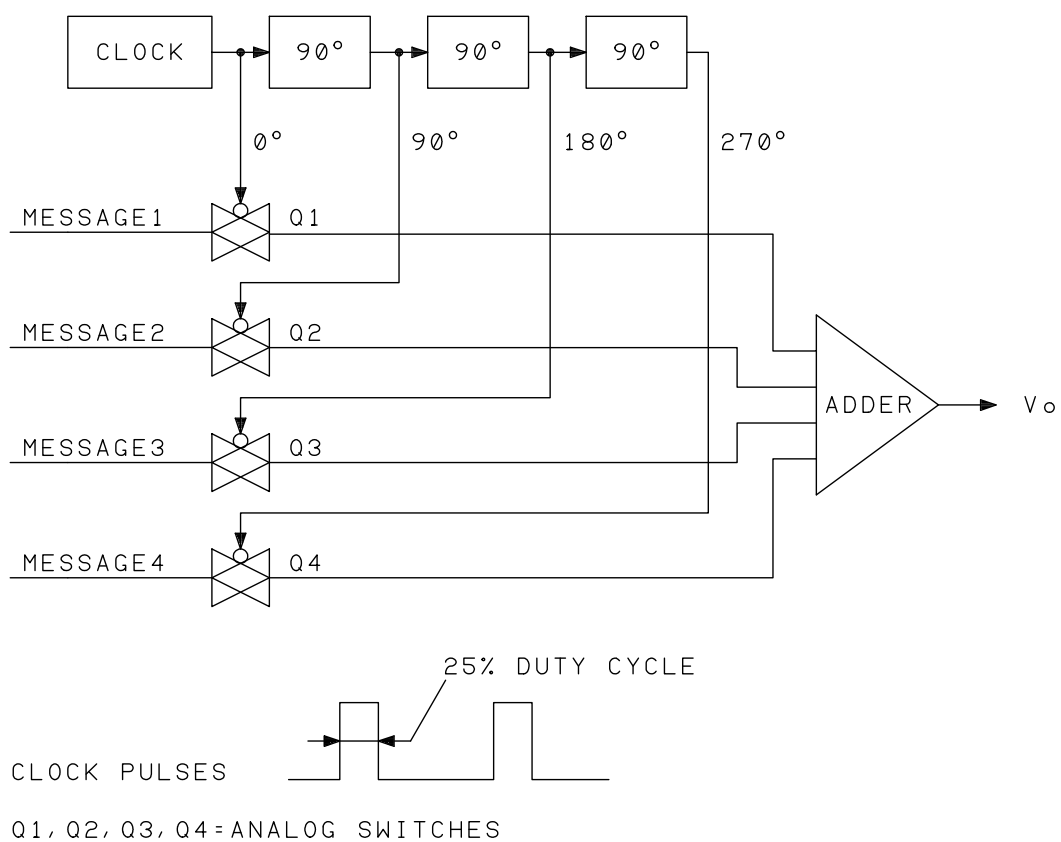


FIG.6 - THE PRINCIPLE OF PAM MULTIPLEXING - BLOCK DIAGRAM

4310APF6

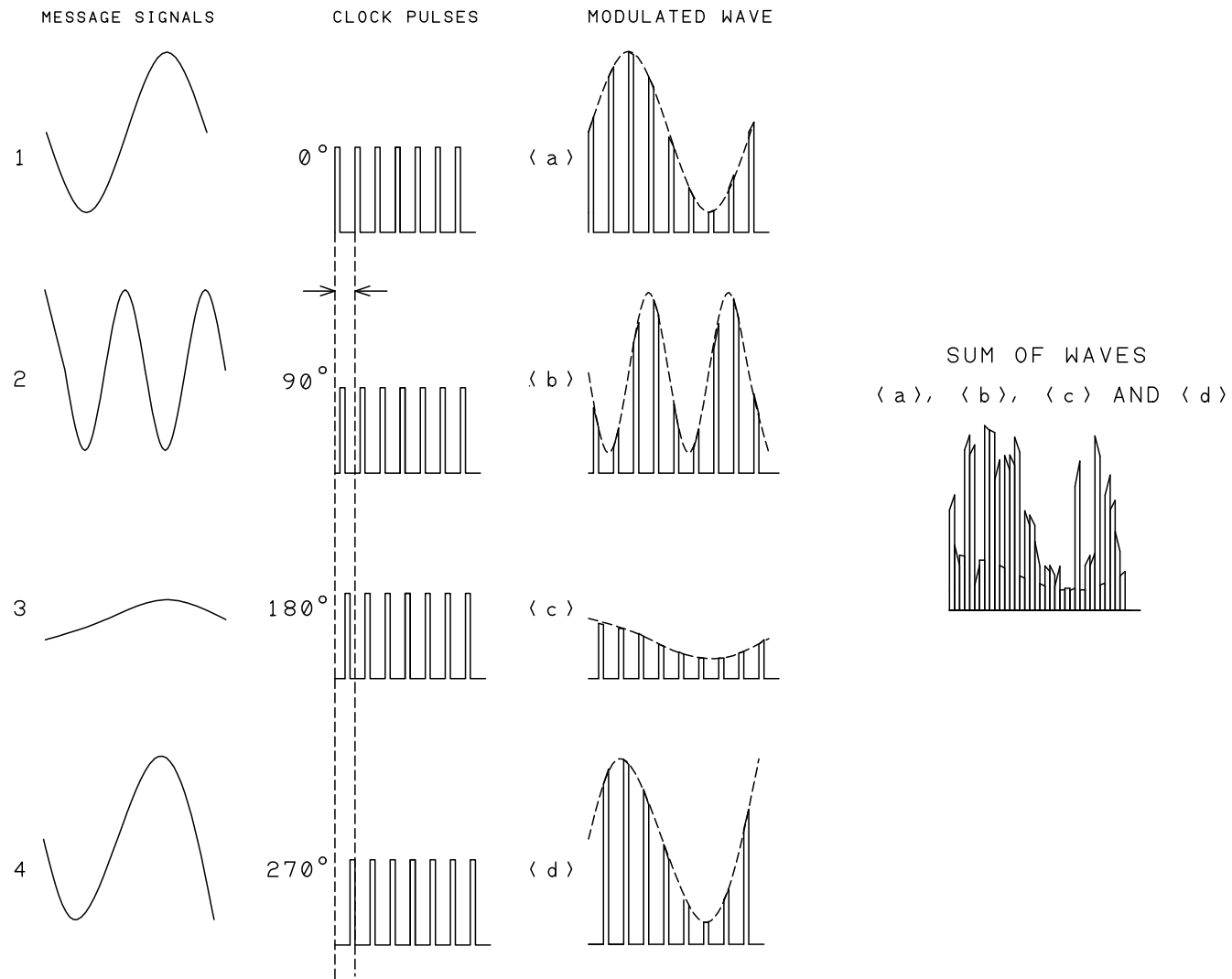


FIG.7 - WAVESHAPES FOR THE PAM-MULTIPLEXER OF FIG.6  
B43S1F7

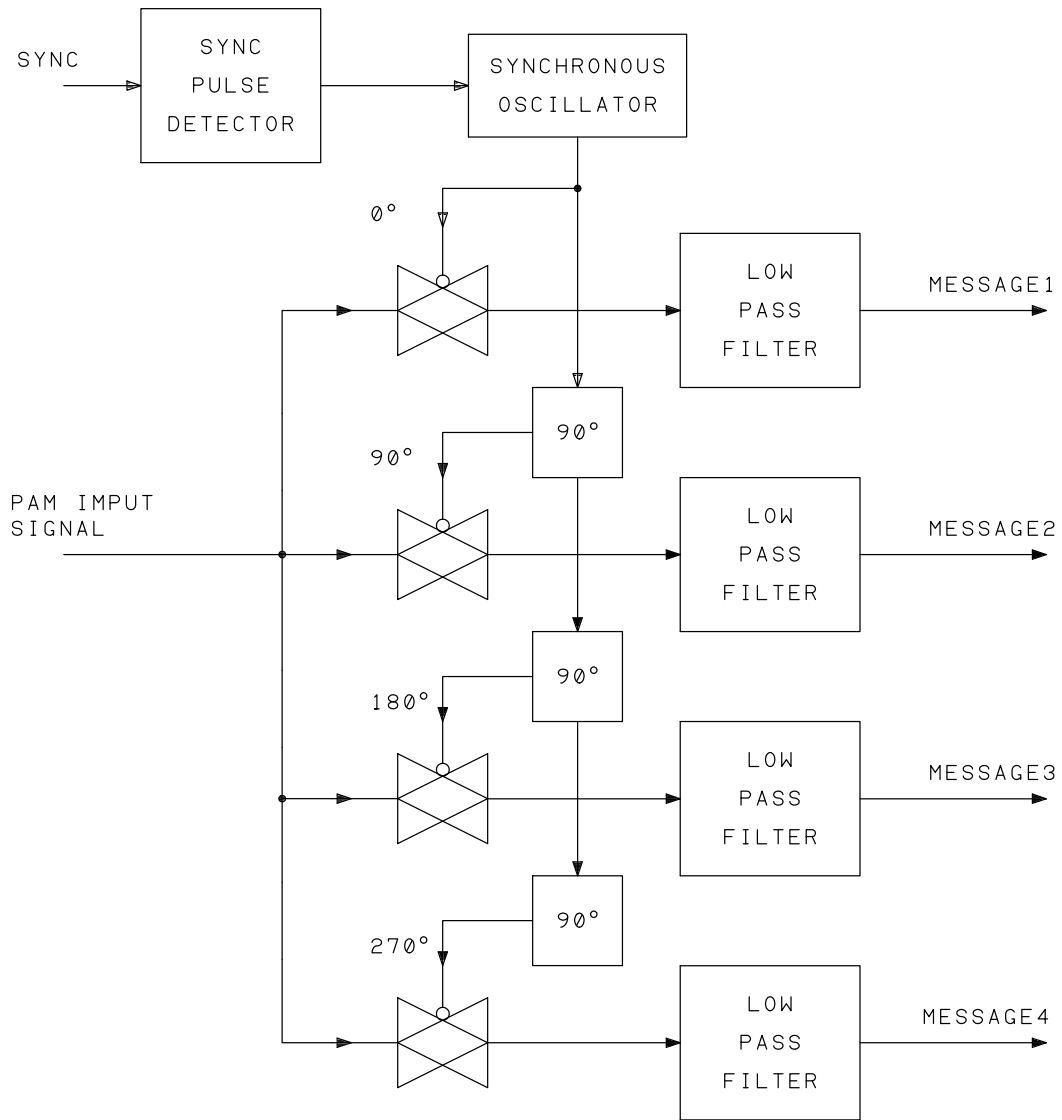


FIG.8 - SEPARATION (DEMULTIPLEXING) AND RECOVERY OF SIGNALS  
4310APF8 FROM TDM-PAM TRANSMISSION

## 4 – DESCRIPTION DE L'UNITE DIDACTIQUE

La Figure 9 représente le vue de face de l'unité didactique et la Fig.10 représente son schéma détaillé. Les différents blocs indiqués sont décrits ci-dessous:

**1 – GENERATEURS DE TEMPORISATION ET AUDIOFREQUENCE:** Ce bloc fournit les signaux de temporisation et de contrôle pour l'entière unité didactique à partir d'un générateur d'horloge maître piloté par quartz. Un point de test étiqueté "TRIGGER" porte un signal qui permet de synchroniser un oscilloscope à toutes les formes d'onde de l'unité didactique.

Ce bloc dispose également de 4 signaux sinusoïdaux dans la bande audio, à utiliser comme sources à audiofréquence pour les essais.

Le 4 sinusoides sont obtenues par la lecture cyclique d'une mémoire EPROM où les sinusoides sont mémorisées sous une forme numérique échantillonnée. La technique de codage utilisée est DELTA.

Chacune des 4 sources à audiofréquence est réglable séparément en niveau de 0 à 5Vpp, par les potentiomètres P1 à P4.

Les trimmers P5 à P8 déterminent le niveau maximum pour chaque source.

**2 – MULTIPLEXEUR PAM:** c'est un multiplexeur temporel 4-canaux qui utilise la technique PAM. Il accepte 4 entrées analogiques en bande audio (5Vpp max.), et construit un signal TDM composite qui est disponible à la prise TX PAM.

Deux points d'essai de ce bloc portent le signal de synchronisations de base du fonctionnement TDM, respectivement les signaux CHANNEL SYNC. et FRAME SYNC.

Le taux d'échantillonnage pour chaque canal est 4.8Kc/s.

**3 – DEMULTIPLEXEUR PAM:** Ce bloc reçoit le signal PAM TDM du multiplexeur à la prise d'entrée RX PAM et effectue la fonction complémentaire de reconstruction des 4 signaux audio, qui seront disponibles aux sorties AF CHANNEL OUTPUT.

Le bloc se compose de deux étages principaux, dont le premier l'effectif démultiplexeur, le second est un bloc de 4 filtres actifs pour supprimer le bruit haute fréquence. Quatre points d'essai, PAM1.....PAM4 portent les signaux de la sortie du premier étage avant le filtrage.

**4 - MODULATEUR PWM-PPM:** Ce circuit accepte un signal audio analogique à sa prise AF INPUT et produit simultanément le PWM et PPM aux prises TX PWM et TX PPM.

**5 – FILTRE DE DEMODULATION:** Les signaux PWM nécessitent un filtre passe-bas pour la démodulation. Ce bloc fonctionnel offre cette fonctionnalité. Les signaux à démoduler entrent dans la prise PWM et le signal AF récupéré est disponible à la Prise AF OUTPUT. Ce filtre de démodulation a un contrôle de niveau, P11 et permet le réglage de la fréquence de coupure par P12. Un Point de Test "UNFILTERED AF" est fourni pour voir le signal avant le filtre actif de sortie.

**6 – CONVERTISSEUR de PPM à PWM:** Comme indiqué plus haut, le signal PWM produit par le modulateur PWM/PPM peut être facilement démodulé par un filtre passe-bas. Toutefois le signal PPM ne peut être traité dans la même manière. Le signal PPM doit d'abord être converti en PWM et ensuite traité dans le filtre. Ce convertisseur de PPM à PWM fournit cette fonction. De PPM à PWM

**7 – ENTREES ALIMENTATION:** C'est ici que l'alimentation externe doit être connectée. Deux tensions stabilisées sont nécessaires, +15V et -15V. La consommation de courant maximum de chaque source est inférieure à 100mA.

**8 – SIMULATEUR DE PANNES:** Il s'agit d'un réseau de 8 microswitches cachés par un couvercle en plastique. L'instructeur introduit une des 8 pannes possibles, suivant les instructions données à la fin de ce manuel (pour l'utilisation de l'instructeur seulement). Le fonctionnement normal de l'unité didactique exige que toutes les pannes soient exclues, c'est à dire que tous les commutateurs soient en position OFF.

**9 – CONNECTEUR J1:** Ceci permet de connecter l'unité didactique à l'unité optionnelle B1178 – Interface pour la simulation de pannes à l'aide d'un PC, permettant de programmer les pannes et leur recherche à l'aide d'un PC. Le même connecteur permet la connexion au B1180 – Laboratoire Informatisé pour la Formation en Electronique. Notez cependant que la pleine utilisation de l'unité didactique est possible sans les options B1178 ou B1180.

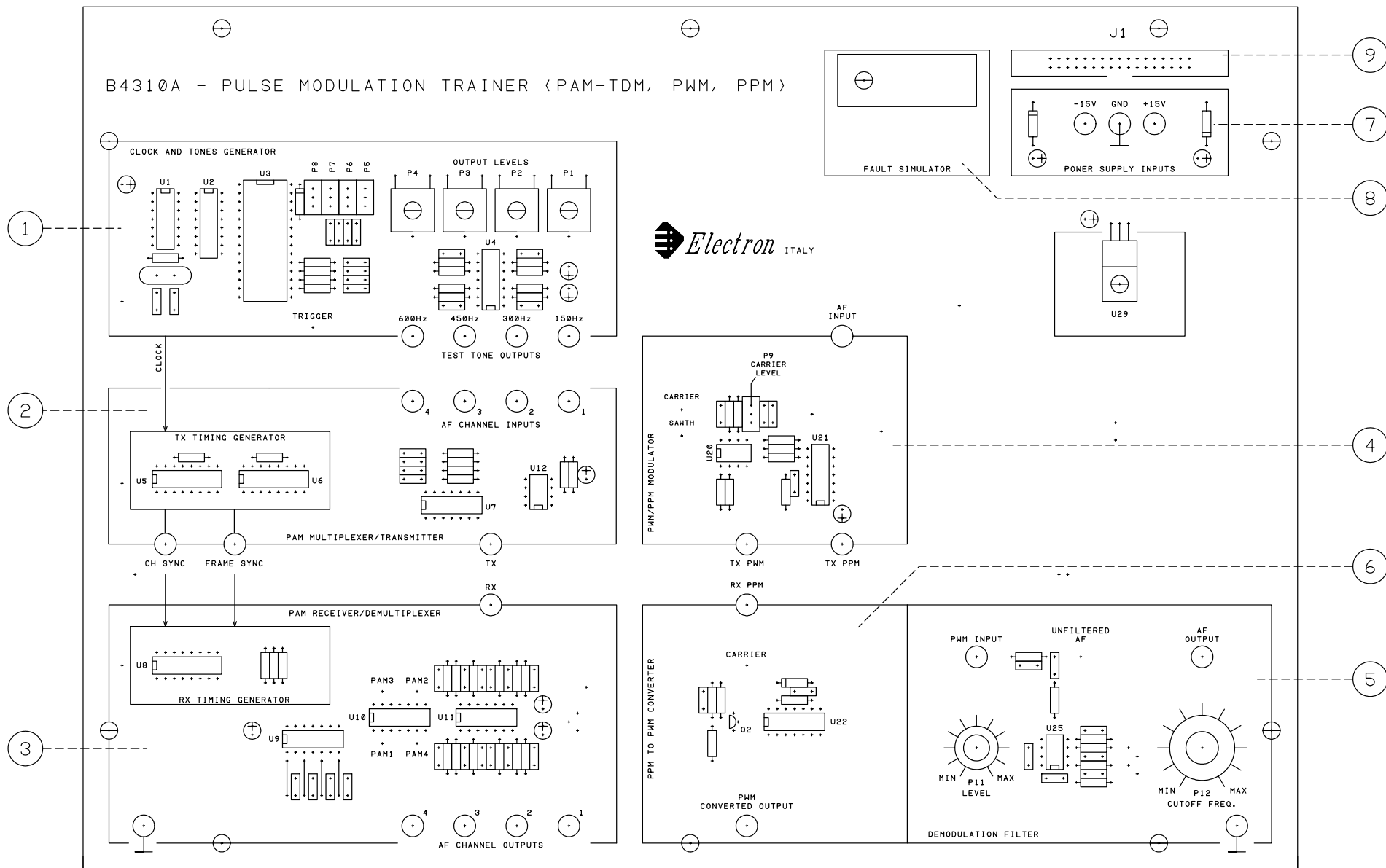


FIG. 9 - FRONT VIEW OF THE TRAINER

310ABF9

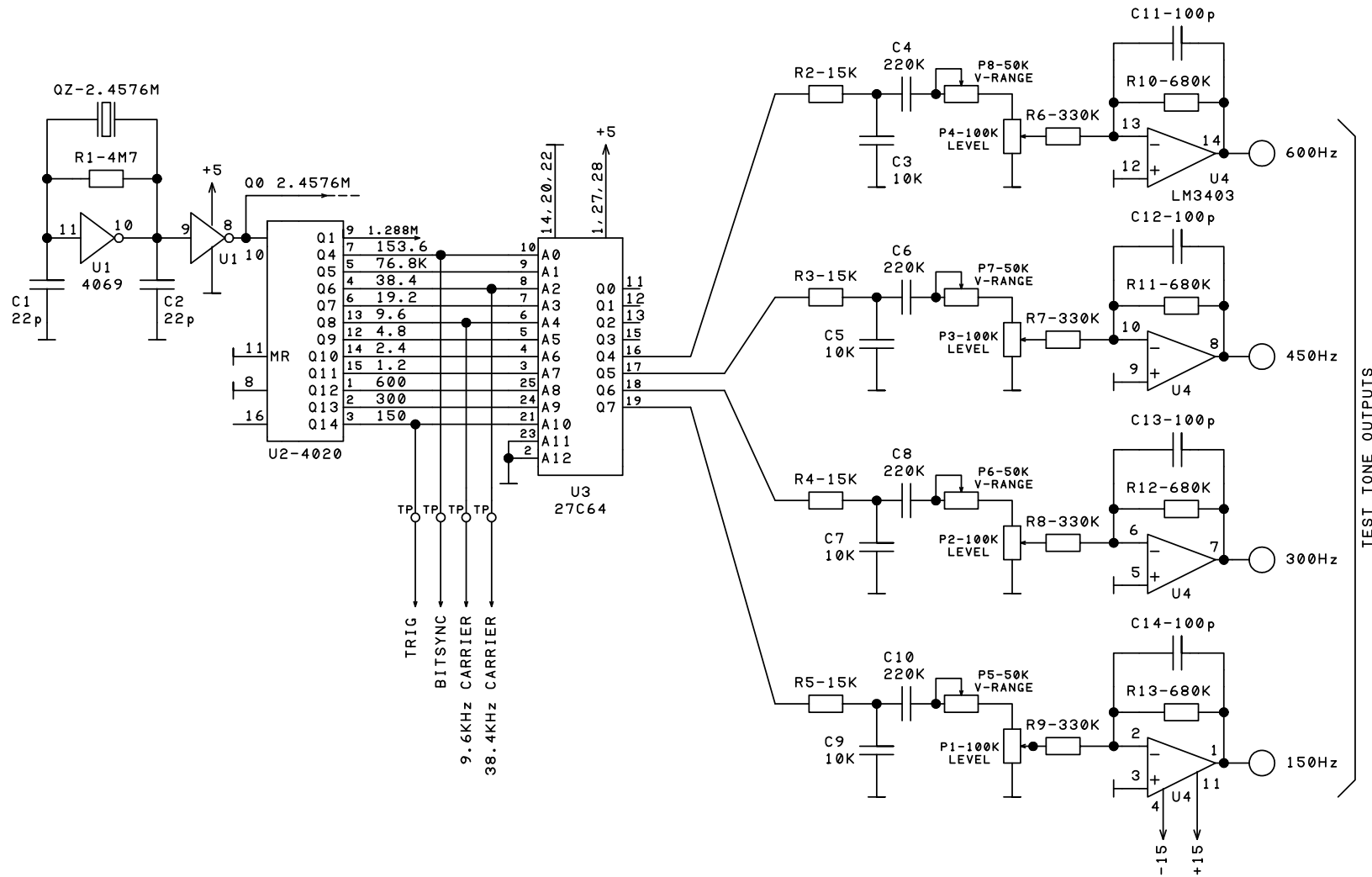


FIG.10A - B4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 1  
310AB10A



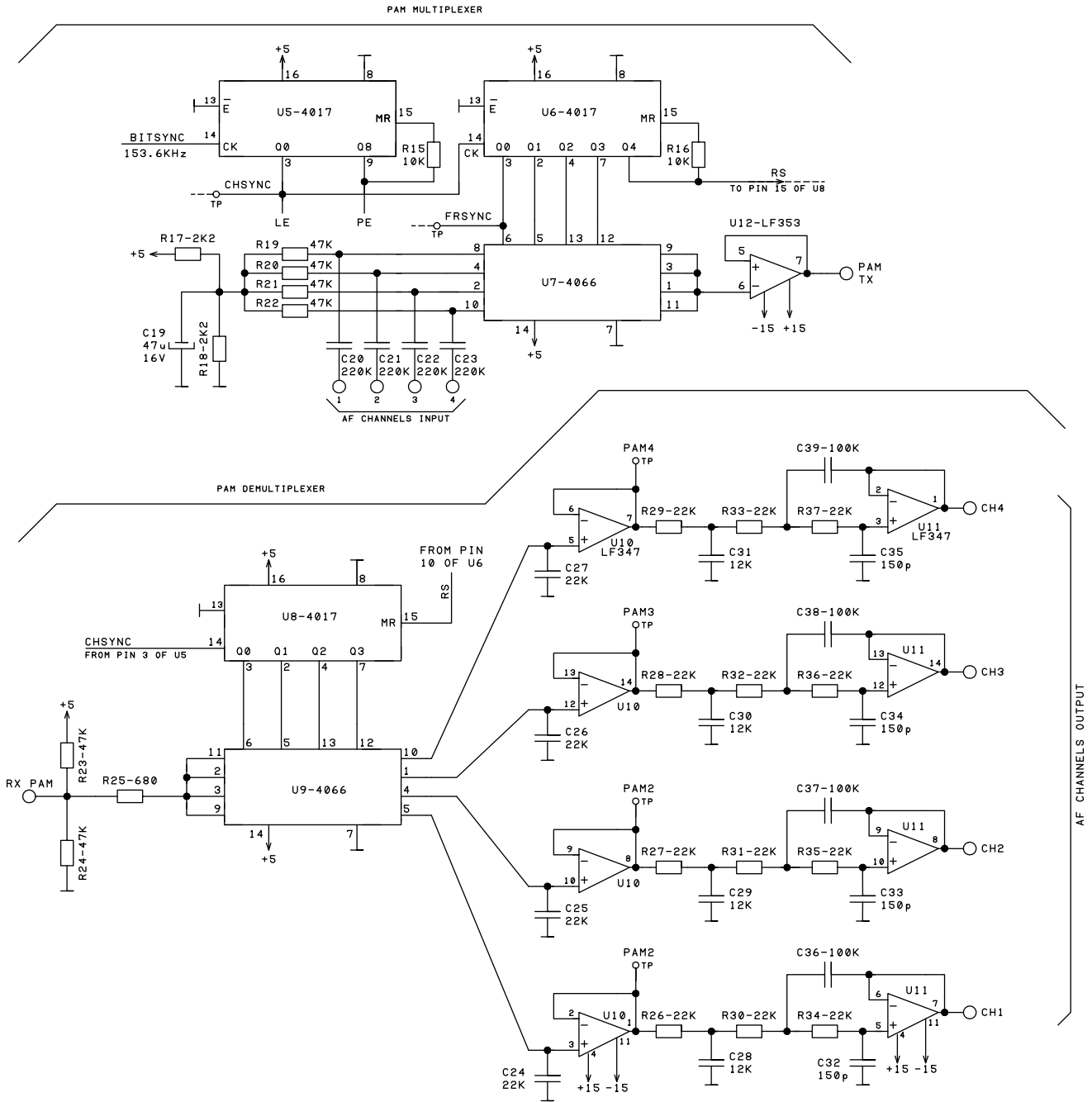


FIG.10B - B4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 2  
310AB10B

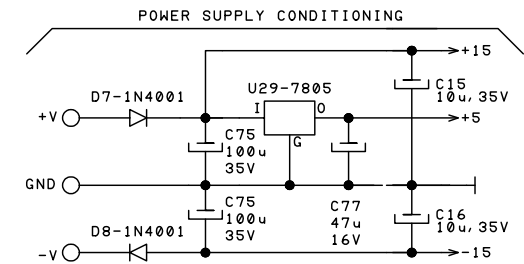
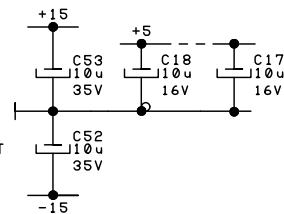
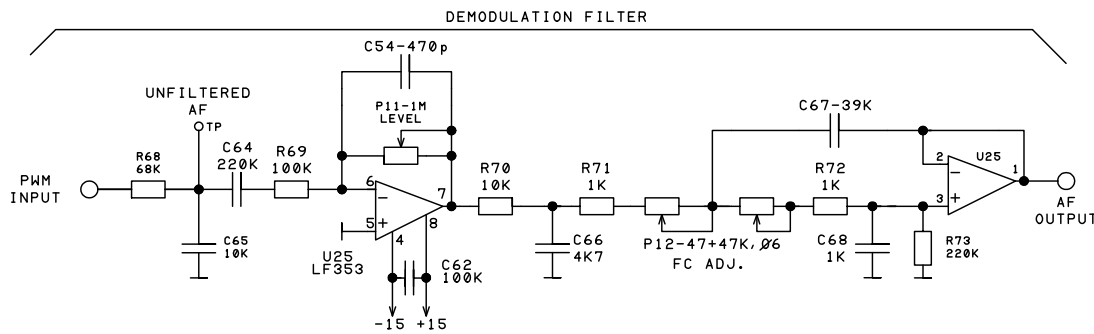
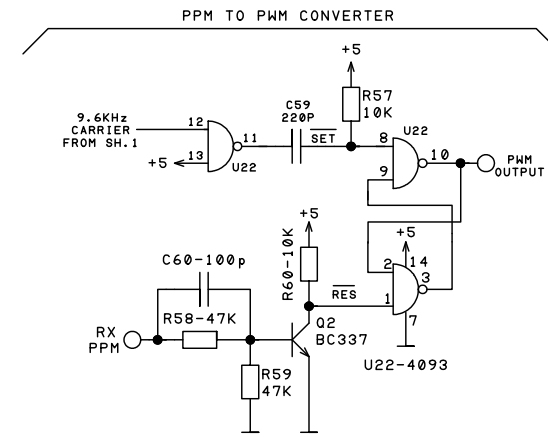
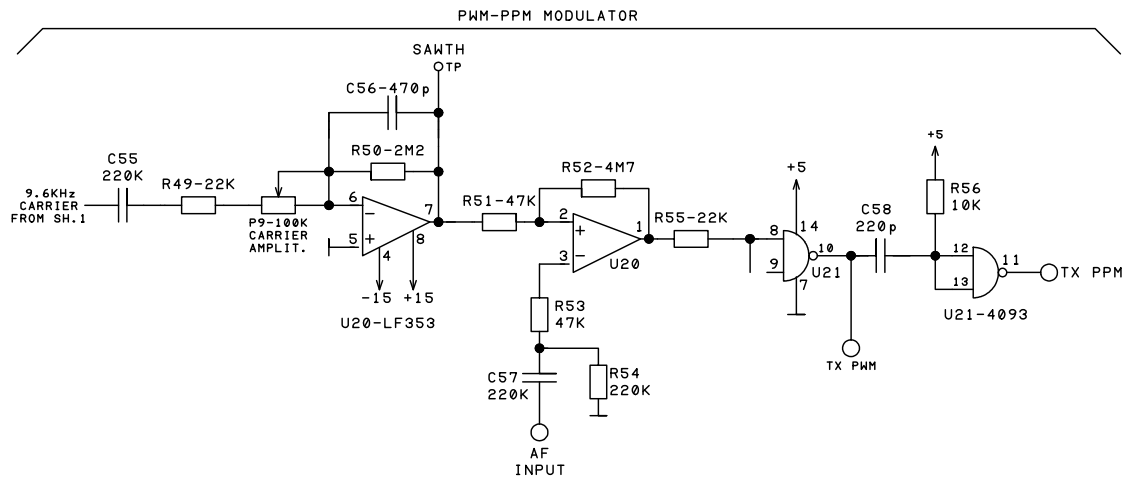


FIG.10C - B4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 3/3  
310AB10C

## 5 – EXERCICES

### 5.1 – EXERCICE No.1 – MULTIPLEX PAM TEMPOREL

La Figure 1 montre le set-up de l'unité didactique. Ce système de démonstration reflète fidèlement les principes des techniques PAM et TDM expliquées dans la première partie de ce manuel.

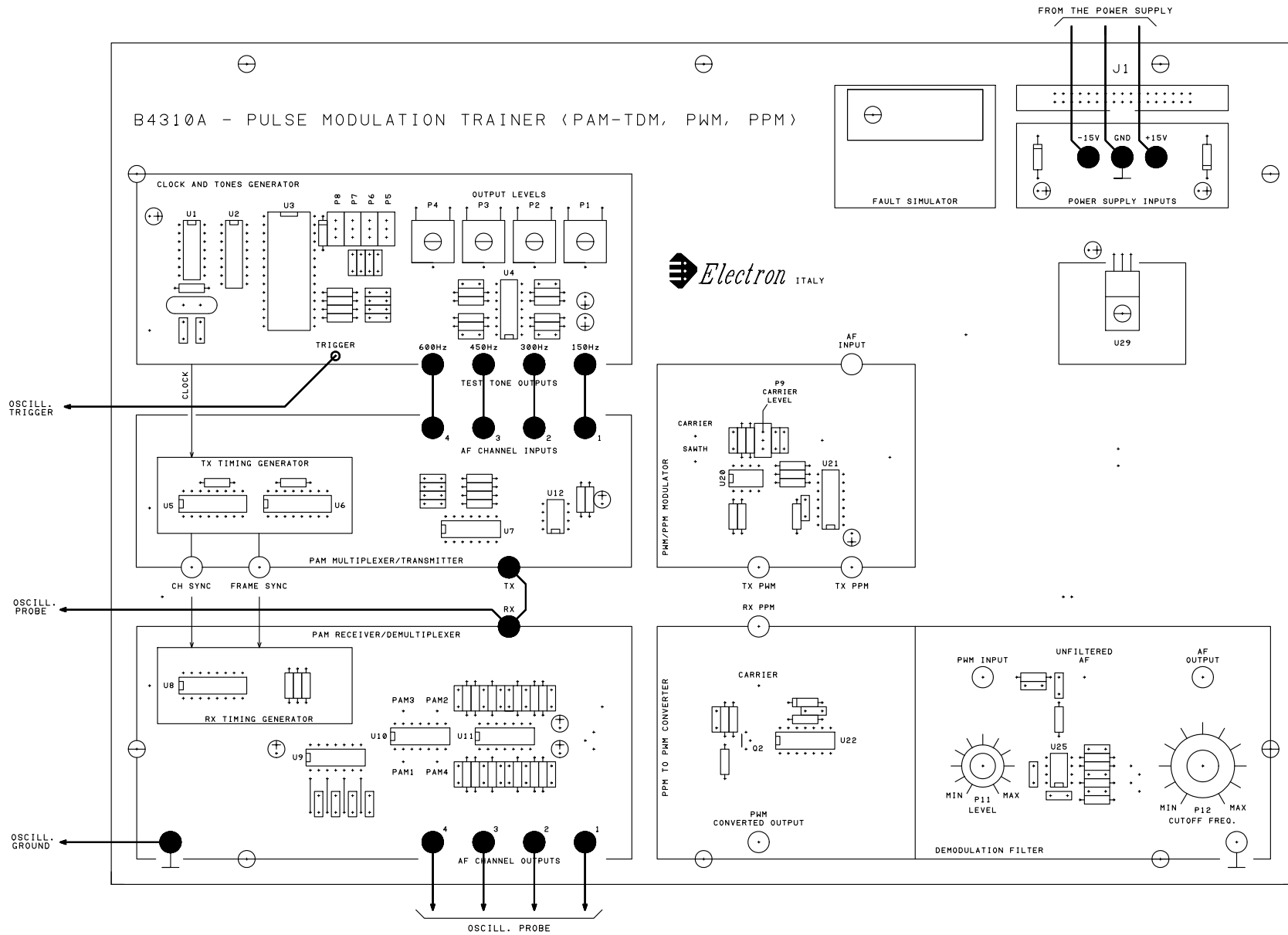


FIG. 11 - SETUP FOR WORKSHEET No. 1 - PAM-TDM OPERATION  
310ABF11

## 5.2 – EXERCICE No.2 – MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSIONS

La Figure 12 montre la mise en place de l'expérience.

La démonstration consiste en l'étude du filtre de démodulation intégré.

Note: Le fonctionnement du système PWM repose sur la précision de la porteuse en dents de scie générée à bord (Point d'essai "SAWTH").

La porteuse doit être suffisamment élevée pour moduler l'entrée sans saturation mais pas assez haute pour empêcher la réduction excessive de l'indice de modulation (plus haute la porteuse en dents de scie, inférieure la variation de largeur par amplitude unitaire de l'audiofréquence modulante).

Régler le trimmer P9 si nécessaire: avec l'entrée maximum (5Vpp) tourner P9 dans le sens horaire juste assez pour avoir un signal non déformé au Point de test "UNFILTERED AF" du filtre de démodulation.

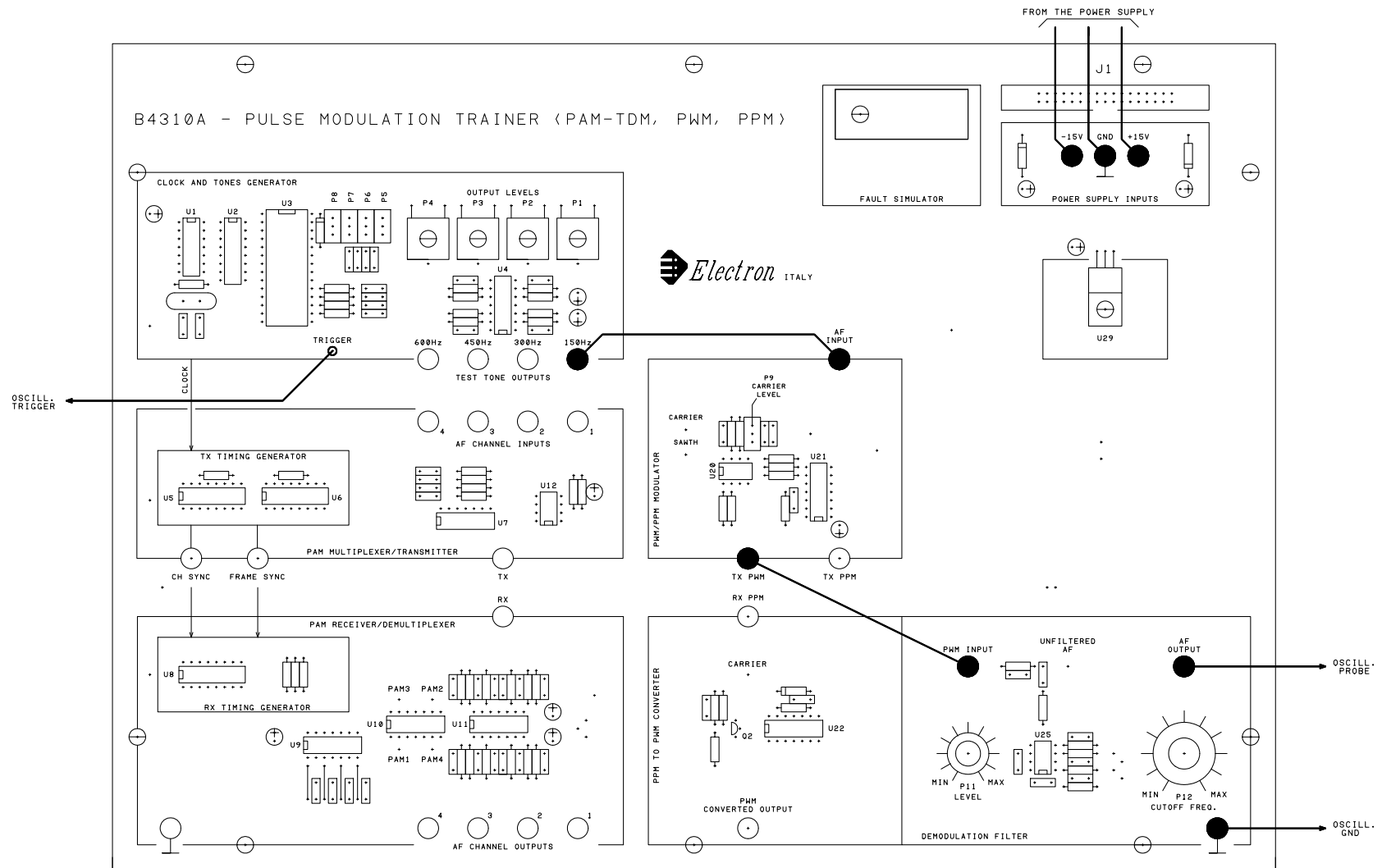


FIG.12 - SETUP FOR WORKSHEET No.2 - PWM OPERATION  
310ABF12

### 5.3 – EXERCICE No.3 – MODULATION D'IMPULSIONS EN POSITION

La Figure 13 montre la mise en place pour l'expérience. La sortie PPM du modulateur est appliquée à l'entrée du convertisseur PPM/PWM.

Après ce processus de conversion le signal est démodulé comme un PWM régulier (voir Exercice No.2)

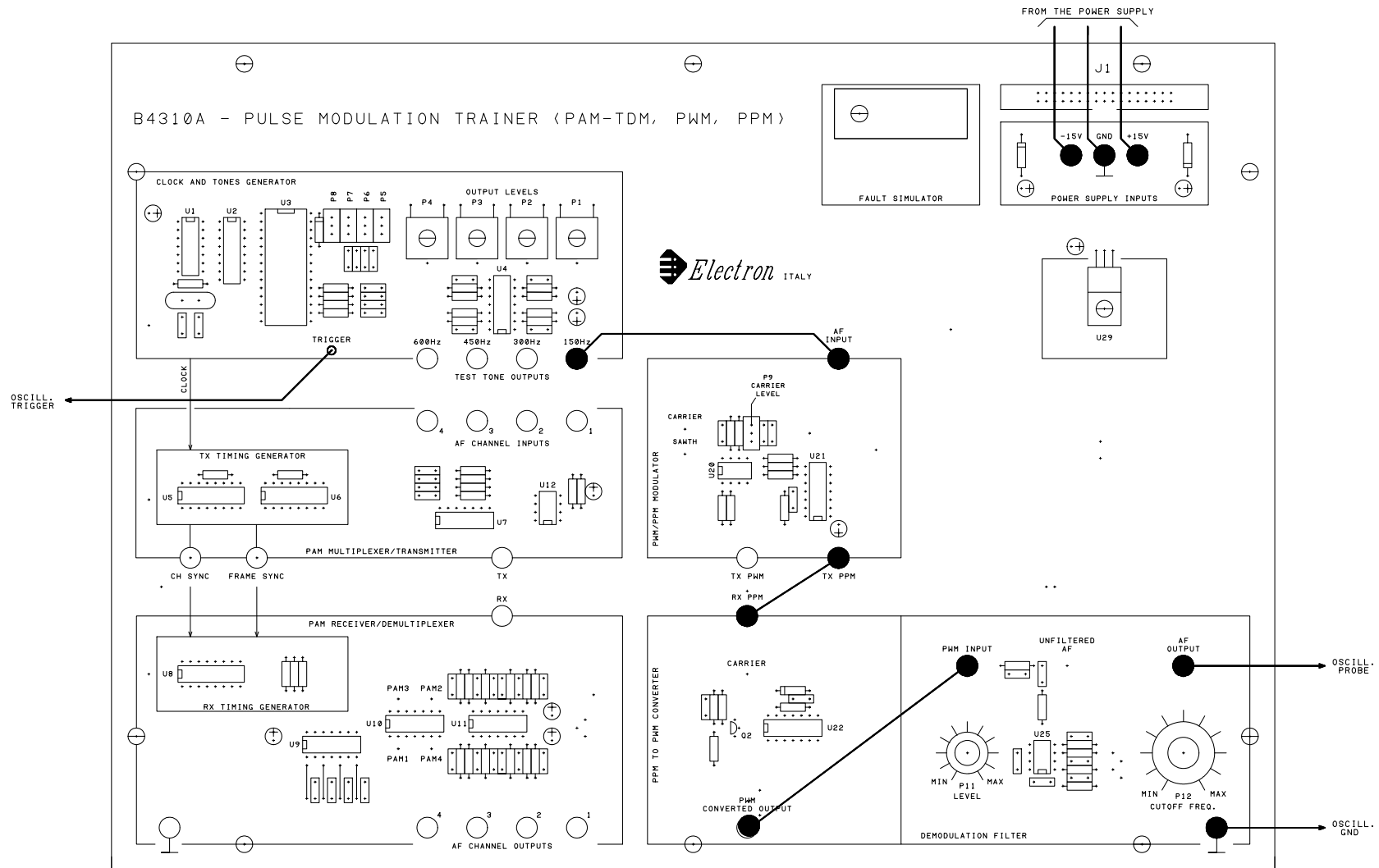


FIG.13 - SETUP FOR WORKSHEET No.3 - PPM OPERATION  
310ABF13



## 5.4 - EXERCICE No.4 - TRANSMISSION DANS UN ENVIRONNEMENT BRUYANT

Cet exercice doit être considéré comme optionnel puisque il nécessite l'utilisation de l'unité didactique B4350 qui comprend un Simulateur de canal de transmission avec générateur de bruit artificiel.

Si disponible, le Simulateur de Canal doit être placé entre les sorties de modulateurs/émetteurs et les entrées des correspondants récepteurs/démodulateurs, par exemple entre prises TX PAM – RX PAM ou TX PWM – RX PWM.

Cela permettra l'observation de la dégradation progressive de la qualité du signal démodulé en augmentant le niveau du bruit artificiel.

## 6 – RECHERCHE DES PANNES SIMULEES

Le système comprend un simulateur de pannes. Un total de 8 situations de panne sont possibles.

La simulation de pannes consiste à mettre des courts-circuits en points déterminés du circuit afin de développer un défaut.

Les pannes sont non-destructives et sont SIMULEES. En d'autres termes il est prévu que l'étudiant doit exercer sa compréhension du fonctionnement du circuit: d'abord il devra localiser la zone touchée, et ensuite il devra effectuer le raisonnement sur la façon dont une défaillance de divers composants dans le circuit peut générer la faute. Pour mener à bien cette tâche l'étudiant devrait utiliser un oscilloscope et un multimètre.

Les pannes sont insérées par l'instructeur, en activant un ou plus commutateurs situés sous un couvercle en plastique sur la face avant de l'unité didactique.

Toutes les pannes sont exclues quand les commutateurs sont tous en position OFF.

En plus de ce système manuel de simulation, l'unité B1178 (optionnelle) et le logiciel dédié offrent la possibilité de recherche des pannes à l'aide d'un PC. Le B1178 – Interface au PC pour la simulation de pannes doit être connecté au connecteur J1 en haut à droite de la carte.

Evidemment les micro-commutateurs intégrés doivent être en position d'exclusion de la panne pour le fonctionnement correcte de l'unité.

Quand l'unité didactique est utilisée dans notre Laboratoire assisté par ordinateur (code B1180), le connecteur J1 permet de relier l'unité didactique à la position étudiant et les pannes peuvent être contrôlées par l'instructeur via son PC lié à chaque position étudiant.

Il vaut la peine de noter que l'utilisation de cette unité didactique avec le B1178 ou le B1180 n'est pas obligatoire et la pleine utilisation de l'unité didactique et son équipement est possible dans le mode "manuel" ordinaire.

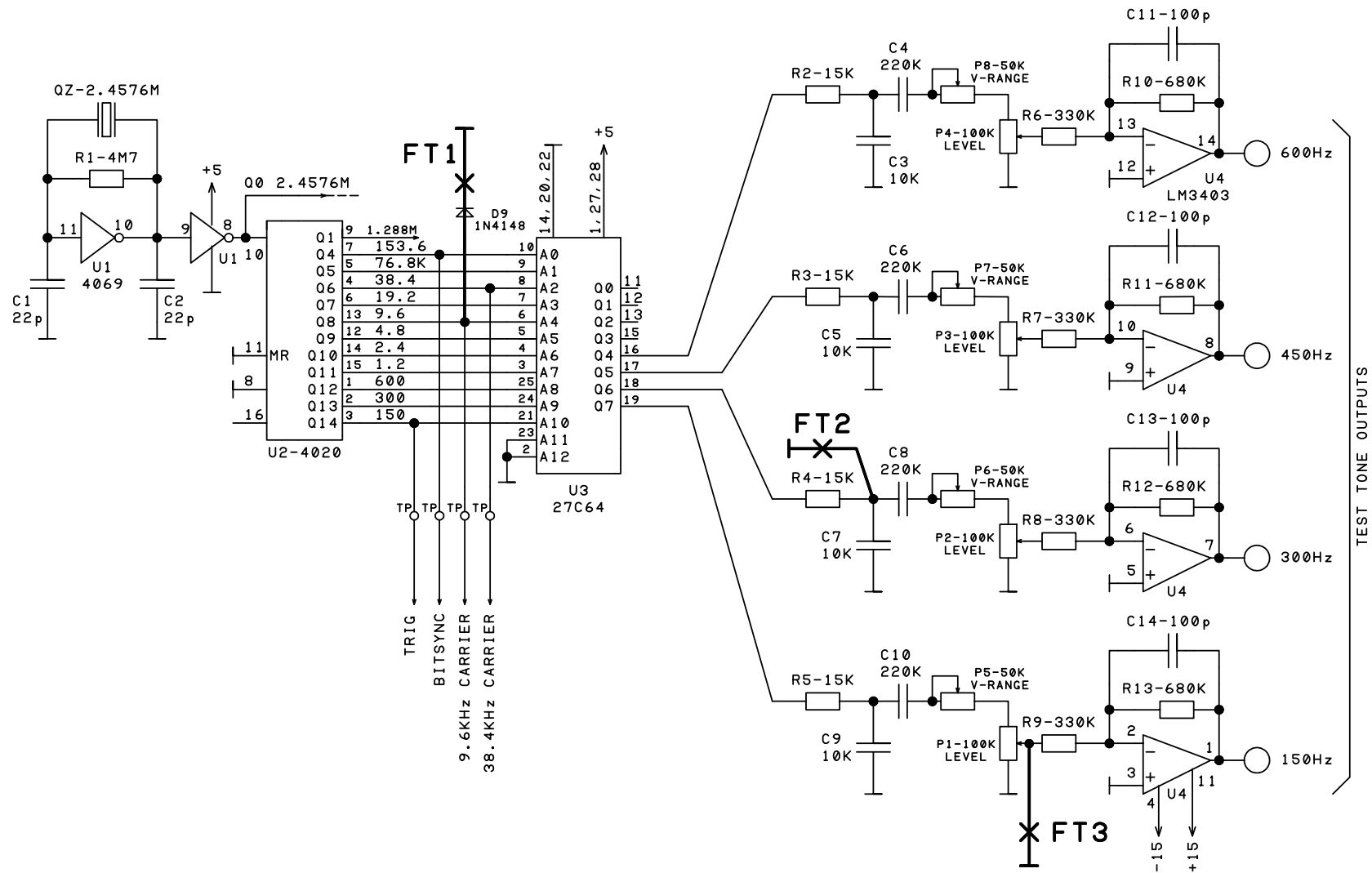
In cas de simulation manuelle de pannes, les étudiants doivent évidemment déduire la solution et non simplement jeter un coup d'œil sous le couvercle pour découvrir la solution.

## 7 – LISTE DES PANNES SIMULABLES

Ce qui suit est une liste des pannes simulables comprises dans ce manuel pour l'utilisation de l'instructeur seulement. Pour une localisation précise des pannes voir aussi le schéma suivant cette section (Fig. 14).

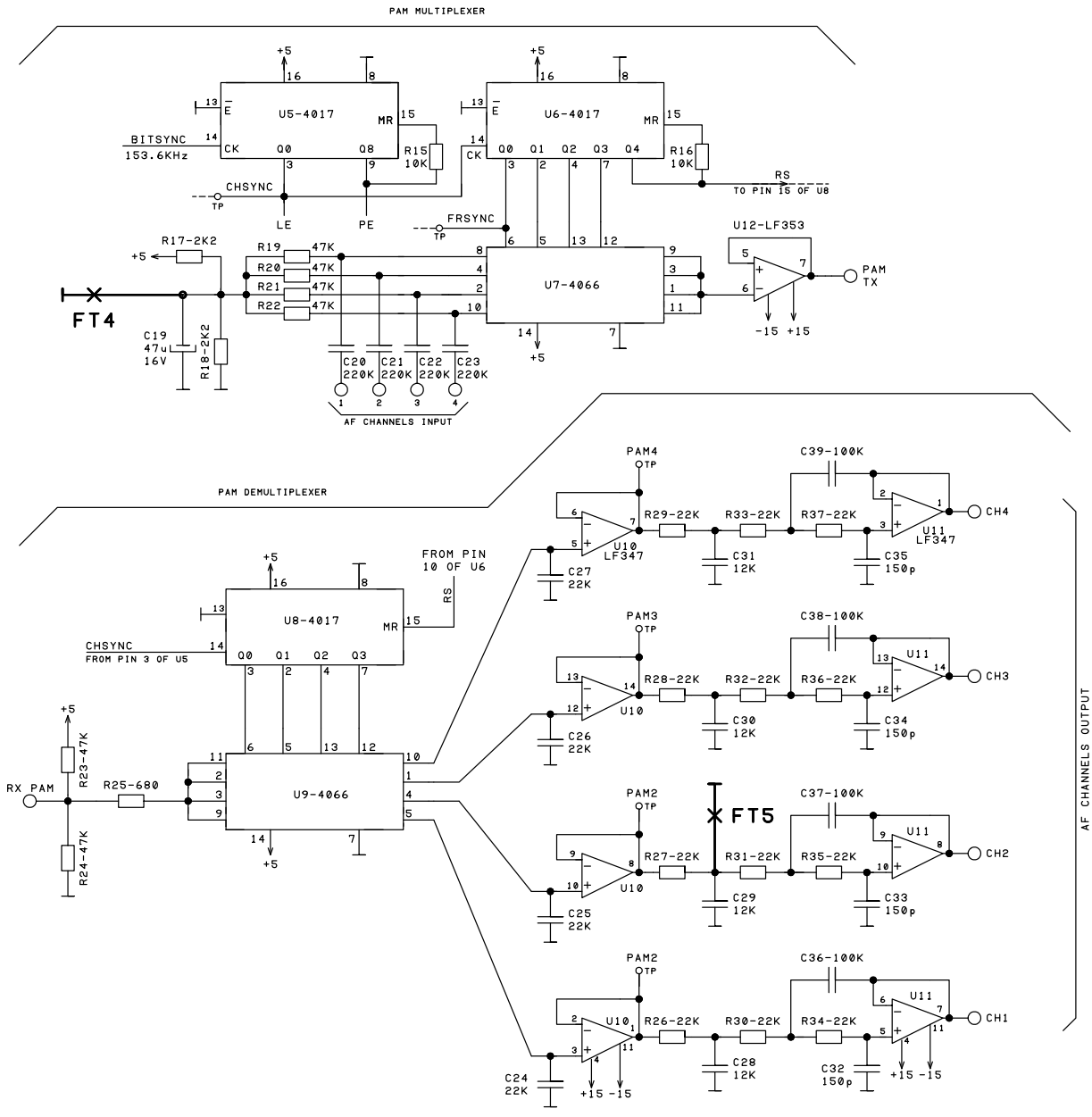
Pour le fonctionnement correct de l'unité didactique (pannes exclues) s'assurer que tous les commutateurs des simulateurs de pannes soient en position OFF (ouvert).

- Panne 1: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met à la masse la ligne de la porteuse 9.6KHz à travers une diode de protection. Ce signal est utilisé par le modulateur PWM/PPM. La panne simulée empêche le fonctionnement de ces étages.
- Panne 2: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes établit un court-circuit aux bornes de C7 dans le bloc du Générateur de signaux de test. Cela empêche le signal de passer à travers l'amplificateur et d'atteindre la sortie 300Hz
- Panne 3: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met à la masse le curseur du potentiomètre P1. Le signal de test 150 Hz est manquant à la sortie.
- Panne 4: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes établit un court-circuit aux bornes de C19, par conséquent le niveau de polarisation de 2.5V pour l'étage PAM MUX/DEMUX est manquant. Les signaux PAM apparaissent sévèrement déformés
- Panne 5: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met un court-circuit aux bornes de C29, dans l'étage démultiplexeur PAM. Le signal manque à la sortie du canal 2.
- Panne 6: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met à la masse les broches 8, 9 de U21 dans le modulateur PWM/PPM. Cet étage pourtant ne fonctionne plus.
- Panne 7: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met à la masse à travers une diode la broche 3 de U22, dans l'étage convertisseur de PPM à PWM. Aucune conversion ne peut avoir lieu.
- Panne 8: Un contact normalement ouvert du simulateur de pannes met à la masse l'entrée du filtre de démodulation. Cet étage est pourtant incapable de passer le signal de l'entrée à la sortie.



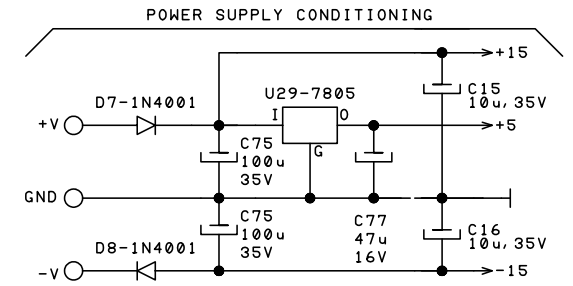
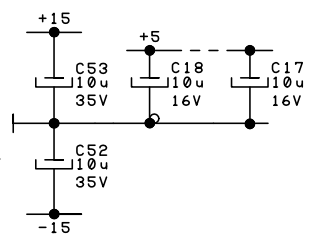
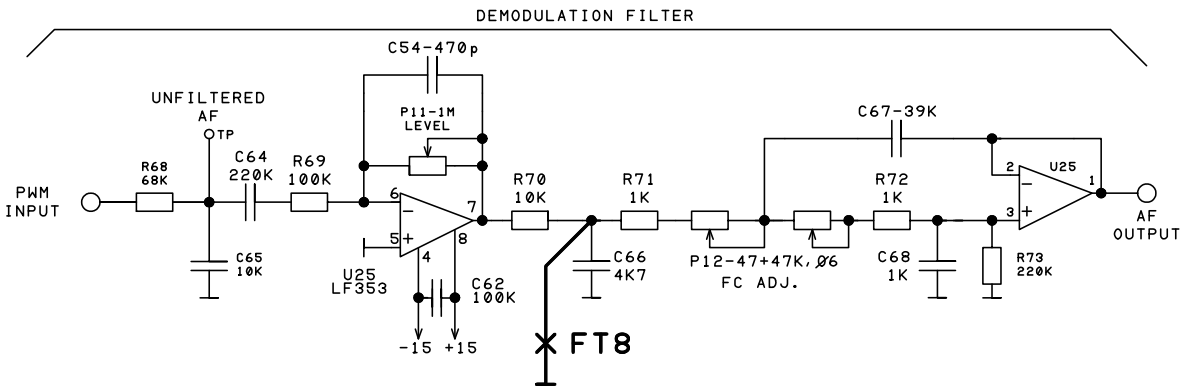
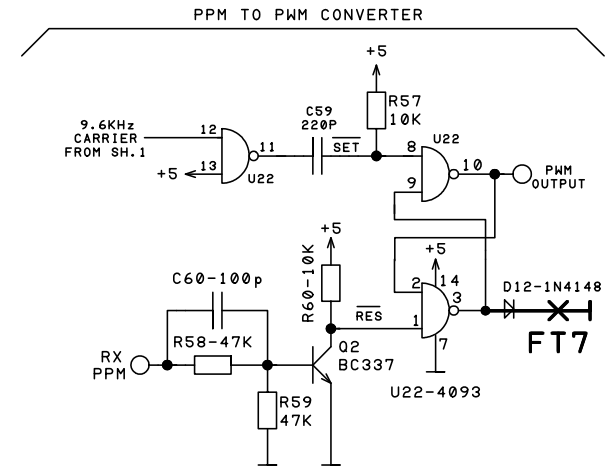
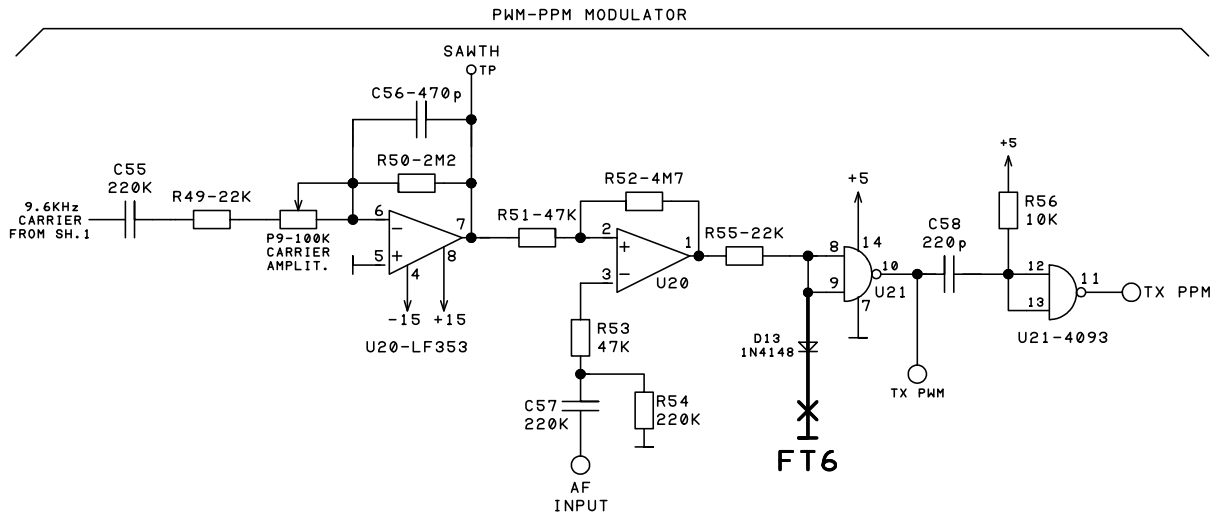
NOTE: SYMBOL  $\times$  REPRESENTS A NORMALLY OPEN CONTACT OF FAULT SIMULATOR

FIG.14A - B4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 1  
310AB14A



NOTE: SYMBOL REPRESENTS A NORMALLY OPEN CONTACT OF FAULT SIMULATOR

FIG.14B - B4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 2  
310AB14B



NOTE: SYMBOL REPRESENTS A NORMALLY OPEN CONTACT OF FAULT SIMULATOR

FIG.14C - 4310A-B - SCHEMATIC DIAGRAM - SHEET 3/3  
310AB14C