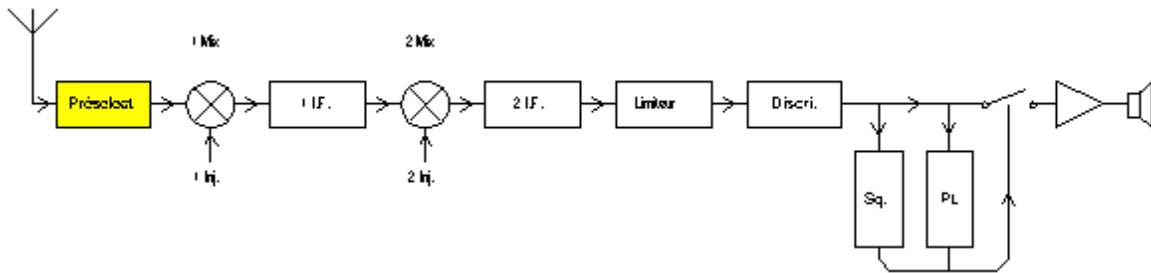


Présélecteur



- Rejette la fréquence image du premier mélangeur.
- Laisse passer la bande de fréquence R.F.

Dans le cas du SM50 VHF, le récepteur doit recevoir de 150MHz à 170MHz. Le présélecteur laisse passer cette bande de fréquences et élimine toutes les autres.

En particulier, la fréquence la plus indésirable est la fréquence image qui, si elle était présente au premier mélangeur, pourrait passer à sa place ou s'y additionner, empêchant toute réception.

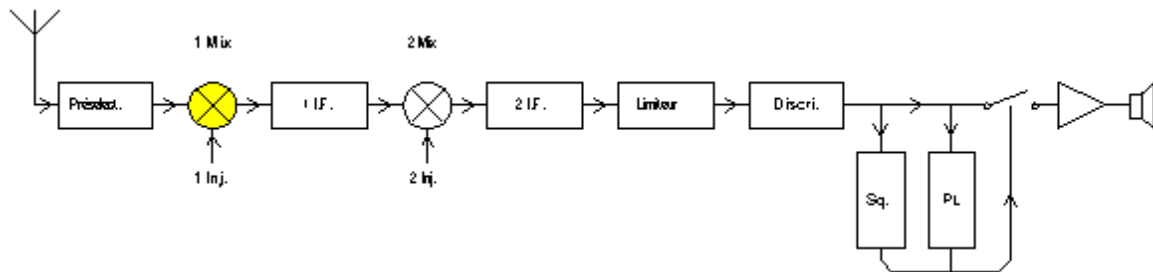
$$\text{Fréq. Image} = \text{Fréq. De Réception} \pm 2 \text{ Fréquence Intermédiaire} *$$

Dans le cas du SM50, la fréquence de réception va de 150MHz à 170Mhz; la fréquence intermédiaire est de 45.1MHz, donc la fréquence image va de 240.2MHz à 260.2MHz. Le présélecteur doit donc passer la bande 150MHz – 170MHz tout en rejetant la bande 240.2MHz – 270.2MHz; le présélecteur est donc relativement simple et n'a pas besoin d'ajustement. Le présélecteur comprend deux diodes en tête-bêche servant à protéger le transistor du pré ampli Q1; ce transistor empêche aussi toute fréquence venant du mélangeur de se rendre jusqu'à l'antenne.

Juste avant d'arriver au mélangeur, l'atténuateur R11 contrôlé par LOC/DIST (c'est un signal logique) provenant du convertisseur numérique/analogique U403 protège contre l'inter modulation.

* le « $\pm$ » tient compte de l'injection basse ou de l'injection haute.

Premier mélangeur



- **Multiplie la fréquence de première injection avec les signaux reçus.**

Toutes les fréquences captées par l'antenne dans la bande 150MHz à 170MHz se retrouvent à la sortie du présélecteur. Le mélangeur va multiplier tous ces signaux par une seule fréquence : la fréquence de première injection.

Si l'on regarde ce que donne mathématiquement la multiplication de deux sinusoides :

$$\sin(2\pi \text{ Finj } t) \times \sin(2\pi \text{ Fr } t) = \frac{1}{2} [\cos(2\pi(\text{Finj} + \text{Fr}) t) - \cos(2\pi(\text{Finj} - \text{Fr}) t)]$$

Où Finj est la fréquence d'injection
 Fr est une fréquence venant du présélecteur;

La multiplication de deux sinusoides aux fréquences Fr et Finj fait donc apparaître deux nouvelles fréquences : leur somme et leur différence : $\text{Fr} + \text{Finj}$ et $\text{Fr} - \text{Finj}$

En admettant que Finj est égale à 205.1MHz, un signal capté par l'antenne à la fréquence Fr de 160MHz se mélangera avec Finj pour donner deux nouvelles fréquences : 365.1MHz et 45.1MHz. Si à la sortie du mélangeur on place un filtre qui ne laisse passer que des fréquences proches de 45.1MHz, on pourra éliminer le 365.1MHz et donc parvenir à sélectionner cette unique fréquence de 160MHz parmi toutes les fréquences captées par l'antenne.

Par exemple la fréquence Fr de 165MHz mélangée à la même fréquence de première injection Finj de 205.1MHz donnera les fréquences : 370.1MHz et 40.1MHz. Avec un filtre à la fréquence 45.1Mhz suffisamment sélectif, on pourra éliminer ces deux fréquences.

En prenant le problème à l'envers en se demandant maintenant quelle(s) fréquence(s) Fr se mélange(nt) avec une injection de 205.1 - comme dans notre exemple - pour donner une fréquence de 45.1MHz, on trouvera en plus du 160MHz la fréquence 250.2MHz.

En effet $\text{Fr} - \text{Finj} = 250.2 - 205.1 = 45.1$

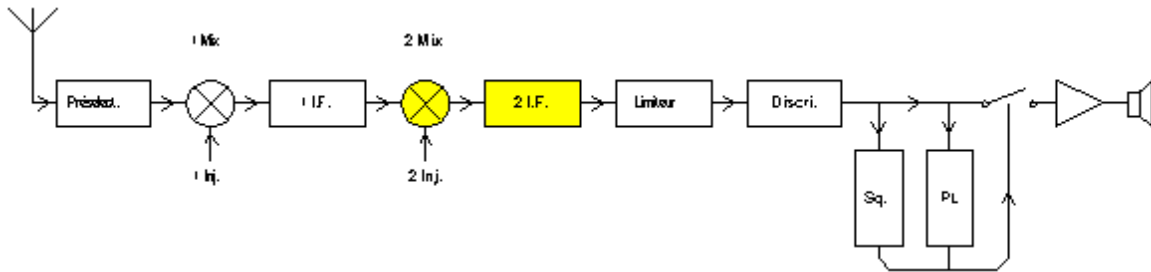
Cette fréquence indésirable (205.2MHz dans notre exemple) qui se mélangerait avec la fréquence de première injection (205.1MHz de notre exemple) pour obtenir exactement la fréquence (45.1MHz dans notre exemple) à laquelle nous voulons filtrer la fréquence sélectionnée (160MHz de notre exemple) se nomme sa **fréquence image**.

Comme dit dans l'étude du présélecteur, celui-ci élimine tout signal hors de la bande 150MHz à 170MHz. Un signal à 160MHz capté par l'antenne traversera le présélecteur, se mélangera à la première injection 205.1MHz pour donner la fréquence du filtre suivant 45.1MHz; ce mélange donnera aussi un signal à 365.1MHz, mais ce dernier sera éliminé par le filtre de fréquence intermédiaire à 45.1MHz. La **fréquence image** de la fréquence que je veux recevoir (160MHz dans notre exemple) qui se trouve à 250.2MHz ne peut évidemment traverser le préselecteur.

Au total la fréquence de première injection permet grâce aux **présélecteur, mélangeur** et au filtre de **fréquence intermédiaire** de sélectionner à l'antenne une fréquence unique et de la transposer à une fréquence donnée (la fréquence intermédiaire).

Le premier mélangeur U1 est constitué de deux bobines et quatre diodes.

Deuxième mélangeur, deuxième I.F.



- **Transpose à une fréquence basse les premières I.F.**
- **Donne au récepteur sa sélectivité.**

Nous avons vu que la fréquence de première injection permettait de sélectionner la fréquence de réception, le premier mélangeur la transpose à 45.1MHz mais n'est pas assez étroit pour donner la sélectivité désirée. On va donc faire un deuxième mélange avec la fréquence issue d'un cristal à 44.645MHz pour obtenir une deuxième fréquence intermédiaire à 455KHz.

À la différence du premier mélangeur dont la fréquence d'injection permettait de sélectionner la fréquence de réception, le deuxième mélangeur ne reçoit que la fréquence 45.1MHz; dès lors synthétiser la fréquence de deuxième injection est inutile; un cristal unique à 44.645MHz pour toute la bande reçue de 150 à 170MHz suffit.

Pour le deuxième mélangeur à injection basse, la fréquence image du 45.1MHz est :

$$45.1\text{MHz} - 2 \times 455\text{KHz} = 44.19\text{MHz}$$

qui est éliminée par les premières I.F.

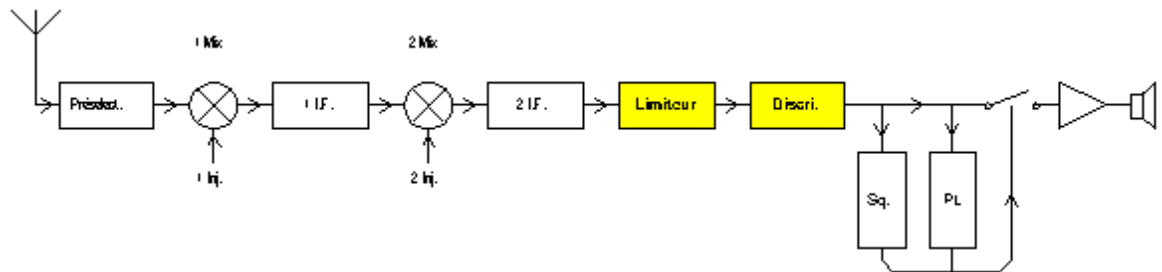
Quant à l'autre fréquence issue du mélange du 45.1Mhz avec la deuxième injection 44.645MHz :

$$45.1\text{MHz} + 44.645\text{MHz} = 89.745\text{MHz}$$

Elle ne saurait traverser le filtre de seconde I.F. à 455KHz.

U51 contient en particulier un amplificateur des premières I.F., l'oscillateur de deuxième injection à 44.645MHz, le deuxième mélangeur, un amplificateur à 455KHz. Les filtres céramiques à 455KHz et le cristal du deuxième oscillateur sont externes à U51.

Limiteur / Discriminateur



Limiteur :

- **Fixe l'amplitude du signal F.M. venant du 2ème I.F.**

Si l'amplitude du signal R.F. en modulation de fréquence à l'antenne de l'émetteur a une amplitude fixe, tout mouvement du véhicule (passage sous un pont, feuilles en été...) peut provoquer des variations importantes de l'amplitude du signal reçu par le récepteur. Ces variations d'amplitude vont être présentes jusqu'à la sortie du filtre de deuxième fréquence intermédiaire.

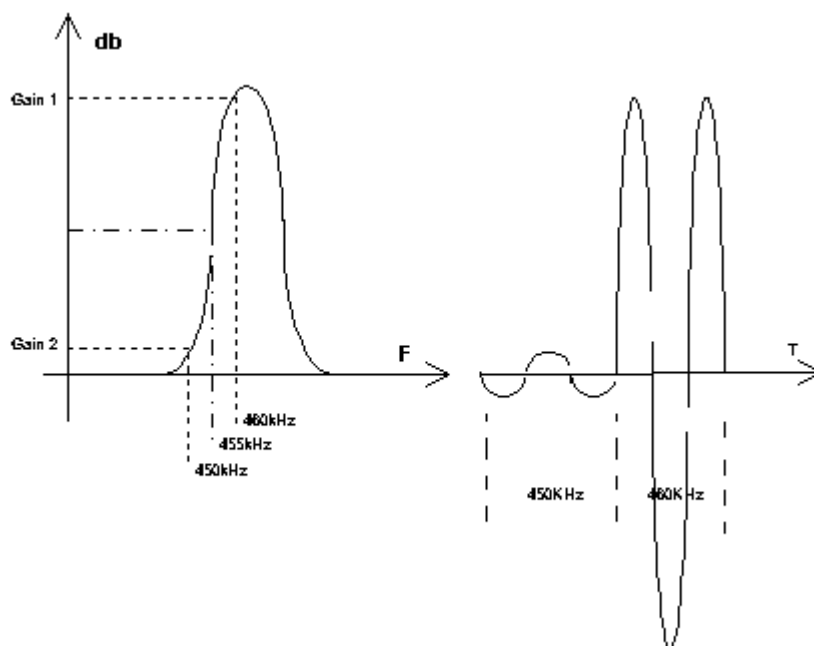
En modulation de fréquence, le signal audio est une variation en fréquence et non une variation d'amplitude. Pour les discriminateurs sensibles à l'amplitude du signal de seconde fréquence intermédiaire, il devient nécessaire de fixer l'amplitude de ces I.F. avant de les envoyer au discriminateur. C'est le rôle du limiteur.

À l'antenne de l'émetteur, le signal a une fréquence de 160MHz (notre exemple) modulé à 5KHz de modulation (déviation) avec une amplitude fixe : la puissance de l'émetteur. Après le limiteur, le signal est un 455KHz modulé en fréquence à 5KHz de modulation (déviation) avec une amplitude fixée par le limiteur. Dans le modulateur de l'émetteur nous avons dû convertir un signal électrique – la voix captée par le microphone – en une porteuse modulée en fréquence. Pour faire l'opération inverse, il va nous falloir maintenant convertir ce signal modulé en fréquence en son signal électrique.

Discriminateur :

- **Convertie en tension un écart autour de la fréquence de la porteuse.**

Le discriminateur classique est composé d'un circuit L-C parallèle, mais au lieu de s'en servir à sa fréquence de résonance on exploite la pente relativement linéaire qu'il présente aux fréquences en dessous de sa résonance.

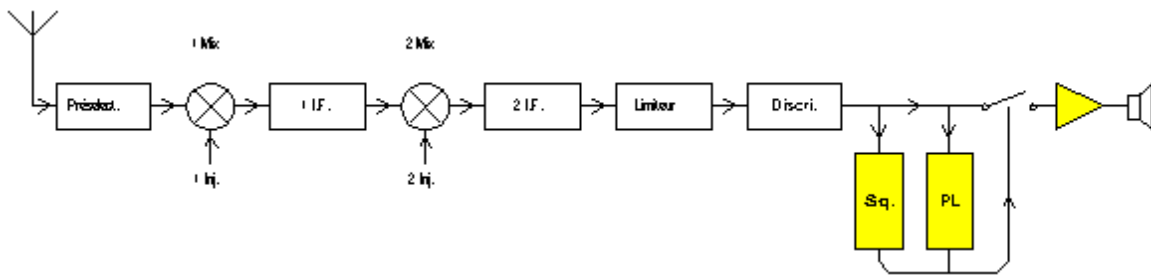


La figure de gauche montre la forme dans un diagramme Fréquence/gain de la courbe du discriminateur. On voit clairement que le gain du filtre est bien plus faible à 455-5KHz qu'à 455+5KHz. En sortie du discriminateur le signal à ces deux fréquences ressemblera à l'oscillogramme de la figure de droite. Une détection de l'enveloppe de ce signal nous restituera le signal original.

Les discriminateurs à quadrature mélangent le signal à 455kHz avec le signal issu d'un circuit résonnant; le produit de ces deux signaux est proportionnel aux variations de phase du 455kHz issu des deuxièmes I.F.

Dans le SM50 une autre technique est employée. Une boucle à asservissement de phase (P.L.L) force un V.C.O à la fréquence de seconde I.F. Le « steering line » de cette P.L.L. varie donc selon la fréquence de seconde I.F. C'est lui qui servira de signal audio démodulé. Comme la P.L.L. est largement insensible à l'amplitude du signal, le SM50 ne comporte pas de limiteur.

Squelch / P.L. / D.P.L. / Ampli



- **Le squelch coupe le haut-parleur si le signal reçu est trop bruyant.**

En l'absence de réception la sortie audio du discriminateur présente du bruit blanc qui va très haut en fréquence. Au fur et à mesure qu'un signal est reçu, le bruit de fond laisse peu à peu la place au signal audio de l'émetteur qui lui, ne dépasse pas une fréquence de 4kHz. Cette particularité des récepteurs en modulation de fréquence est exploitée dans le squelch : Un filtre passe haut laisse passer le bruit à haute fréquence, le niveau de ce bruit est comparé à un niveau pré déterminé. Si le bruit est trop important le haut parleur sera mis hors circuit « muted » ; si le bruit est faible, le haut parleur sera mis en fonction « unmuted ».

Le squelch du SM50 est inclus dans le récepteur U51.

- **Le décodeur de P.L. ou D.P.L. coupe le haut-parleur si la tonalité sous-audible est absente.**

Pour différencier une flotte de radio d'une autre flotte partageant la même fréquence ainsi que pour rendre le récepteur totalement silencieux en fin de transmission, on exploite la bande de fréquence inutilisée en dessous de 300Hz.

Une tonalité continue à une fréquence bien précise le Private Line* ou encore un signal numérique série très basse fréquence est ajouté à la voix dans le transmetteur.

Cette tonalité sous-audible se retrouve dans le signal audio après le discriminateur. Un filtre passe-bas la sépare de la voix, elle est détectée par un diapason ou maintenant un filtre à capacité commutée; le D.P.L. passe par un circuit – «center slicer - qui le remet en forme détectant les transitions par la valeur moyenne entre les « 0 » et les « 1 »; le signal numérique est finalement reconnu par le microprocesseur.

* « Private Line » est le terme utilisé par Motorola; G.E. utilise « Chanel guard »; le terme générique est CTCSS (Continuous Tone Codes Squelch System)

Lorsque la personne relâche le P.T.T. son émetteur est gardé en ondes le temps d'envoyer quelques cycles de son P.L. déphasé de 90°. Ce brusque changement de phase est reconnu par le décodeur de P.L. comme une fin de transmission. Dans le cas de D.P.L. en relâchant le P.T.T. on provoque la transmission d'une suite de « 1 » et de « 0 » que reconnaît également le décodeur de D.P.L.. Dans un cas comme dans l'autre le haut-parleur est immédiatement couper pour éliminer le bruit résultant d'un décodage tardif de squelch (squelch tail).

Le traitement du P.L. et du D.P.L. est fait en conjointement par l'AFIC U402 (Audio Frequency Integrated Circuit) et le microprocesseur U401.

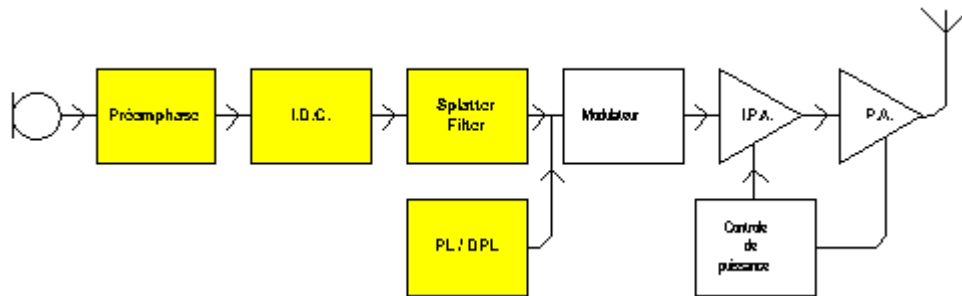
- **La dé-emphase rééquilibre les hautes fréquences et les basses fréquences de la voix.**

L'émetteur avait son circuit de pré-emphase, pour compenser le récepteur a un filtre de dé-emphase à -6db par octave. Il est inclus dans l'AFIC.

- **Porte analogique et ampli audio.**

La coupure (mute) de l'audio au haut-parleur est confiée à une porte analogique U554A; l'ampli est le double ampli de puissance U501 monté en H.

Pré emphase / I.D.C. / Splatter filter / P.L.



- **La Pré emphase améliore la qualité du signal.**

Le microphone dynamique, alimenté par R659 traverse la porte analogique U554B. La pré emphase est constituée de R654 et C651. C'est un simple filtre passe haut à 6db par octave, utilisé conjointement avec la dé emphase, il améliore la qualité du signal reçu.

- **Instantaneous Deviation Control.**

L'émetteur est construit pour fonctionner avec une personne parlant normalement à une distance de quelques centimètres du microphone. Il faut se prémunir contre quelqu'un qui, parlant trop fort trop près du micro, risquerait en sur modulant d'entrer sur un canal adjacent. L'I.D.C. comprend d'abord un limiteur (souvent deux diodes en tête-bêche) suivi d'un potentiomètre avec lequel on ajuste la modulation maximale permise.

Dans le SM50 l'I.D.C. est interne à l'Audio Filter Integrated Circuit (AFIC) U402. Il comprend aussi les filtres pour couper toute fréquence plus basse que 300Hz afin de ne pas nuire au décodeur de tonalité sous-audible du récepteur et éliminer toute fréquence plus haute que 4KHz. L'ajustement de la modulation (déviations) se fait par ordinateur.

- **Splatter filter.**

Un signal écrêté comme dans l'I.D.C. « sonne » mal; pour l'améliorer, on fait passer l'audio limité par un filtre passe bas, le Splatter filter chargé de le remettre en forme.

Le Splatter filter est aussi inclus dans l'AFIC U402.

• **Private Line / Digital Private Line.**

Comme vu dans l'explication de l'I.D.C. ci-dessus, les basses fréquences de l'audio ont été éliminées.

Cette bande inutilisée peut être mise à profit pour rendre mon récepteur silencieux à toute interférence tout en restant fonctionnel avec les autres radios de mon entreprise (ma flotte).

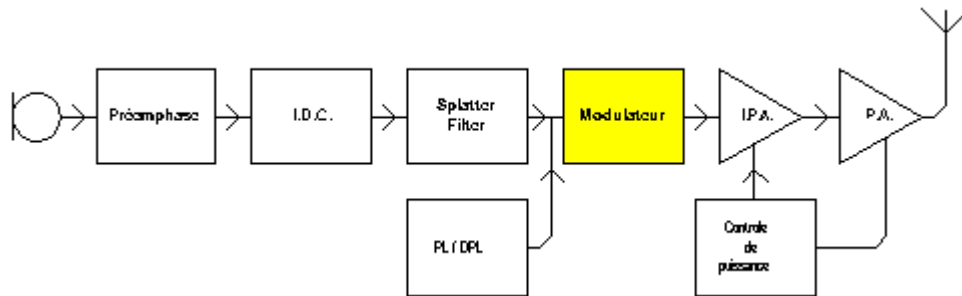
Pour ce faire, dans tous les émetteurs de ma flotte, on additionne à la voix traitée une très basse fréquence (dans la bande inutilisée en dessous de 300Hz) que peuvent décoder tous les récepteurs de ma flotte. Si un récepteur de ma flotte reçoit un signal sans cette tonalité sous-audible, un interrupteur électronique gardera silencieux son haut-parleur. Quand un récepteur de ma flotte reconnaît notre tonalité sous-audible, il ferme l'interrupteur électronique vers le haut-parleur.

Cette tonalité est souvent une simple fréquence sinusoïdale : le Private Line; elle peut aussi être un signal digital série : le Digital Private Line.

Lorsque l'on relâche le P.T.T. d'un émetteur avec Private Line, l'encodeur P.L. décale la fréquence P.L. d'un quart de cycle, garde un instant l'émetteur en ondes avant de l'arrêter. Cette rotation de phase du P.L. de 90° est reconnue par les récepteurs de la flotte comme le signal que le P.T.T. vient d'être relâché, le récepteur coupe alors instantanément le haut-parleur, coupant de ce fait le bruit entendu avant que le squelch n'agisse : le Squelch Tail.

Dans le cas de D.P.L., c'est une rapide succession de 1 et de 0 qui prend la place du D.P.L. quand on lâche le P.T.T.; de la même manière les récepteurs coupent le haut-parleur immédiatement, alors que l'émetteur est encore en ondes, éliminant de la même manière le Squelch Tail.

Modulateur



- **Fait varier la fréquence d'une porteuse par le signal audio.**

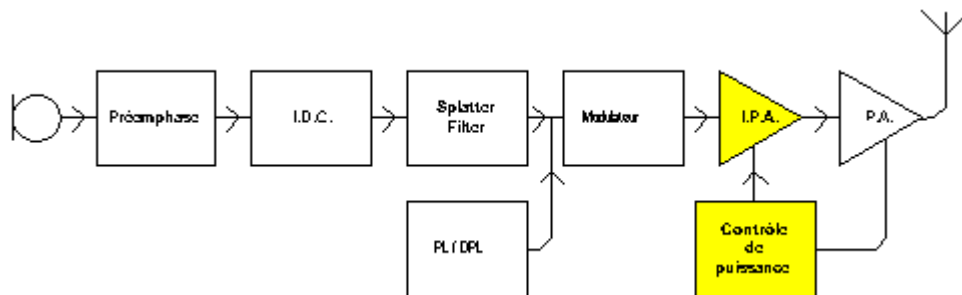
La fréquence à partir de laquelle on génère la fréquence R.F. d'un émetteur provient du circuit résonnant d'un l'oscillateur.

La fréquence de cet oscillateur sera changée si l'on ajoute un condensateur dans le circuit résonnant. En remplaçant ce condensateur une varicap (dont la capacité varie selon une tension électrique), on obtient un oscillateur dont la fréquence est changée – modulée- par cette tension électrique.

Dans le cas du SM50, VCO MOD, le signal modulant (voix pré emphasée, limitée puis additionnée au P.L. ou D.P.L) aux Pins 19 et 20 de U402 arrive au synthétiseur, il module en basse fréquence le pilote Y201 par CR201 et le V.C.O. de transmission par CR252.

Amplificateur de puissance intermédiaire

Contrôle de puissance



- **Amplifie la porteuse modulée du V.C.O.**
- **Ajuste la puissance du P.A.**

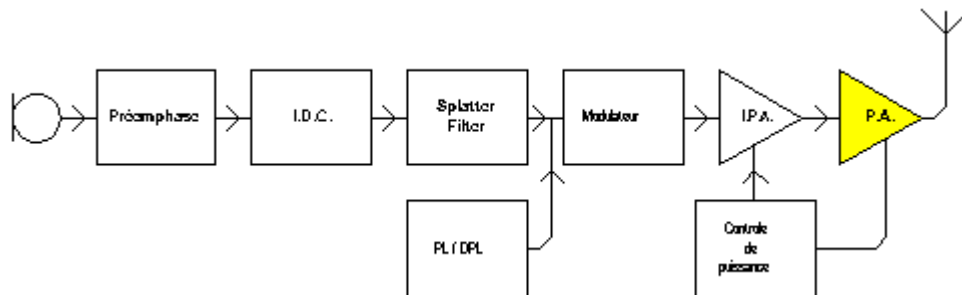
La puissance finale de l'amplificateur de puissance (P.A.) dépend de la puissance qu'il reçoit en entrée, c'est à dire de la puissance de sortie de l'amplificateur de puissance intermédiaire (I.P.A.).

Un circuit mesure la puissance finale à la sortie du P.A. et la compare à l'ajustement de puissance; la tension de sortie de ce comparateur alimente un transistor de l'I.P.A. qui amplifiera alors plus ou moins la porteuse venant du modulateur.

Il en résulte que par le contrôle de puissance asservira la puissance du P.A. à la tension de l'ajustement de puissance.

La mesure de la puissance à la sortie du P.A. est souvent simplement l'image du courant qu'il consomme; dans le cas du SM50 UHF, un coupleur directionnel est placé entre le P.A. et le filtre harmonique, la mesure de sa puissance directe comparée à POWER ADJ contrôle la tension du collecteur de Q2620, partant son gain donc la puissance finale. La mesure de puissance réfléchi par le coupleur directionnel est comparée à une limite fixée par deux résistances R459/R460 et agit directement sur la consigne de puissance POWER ADJ, limitant ainsi à une valeur préétablie la puissance réfléchi. Q453 réduit le gain de l'I.P.A. en cas d'échauffement excessif du transistor final et protège Q2630 si Q2640 est mort en limitant la tension maximale au collecteur de Q2620.

Amplificateur de puissance Filtre harmonique Commutation Tx / Rx



- **Amplificateur de puissance / Filtre harmonique :**

Le signal au collecteur du transistor final Q2640 comprend la porteuse modulée en fréquence par le modulateur (signal utile) mais aussi toutes les harmoniques inhérentes à l'amplification classe C.

Le filtre entre C2643 et C2647 adapte l'impédance de sortie du P.A. à 50Ω et conjointement avec le filtre harmonique L2660 à L2663, réduit la puissance des harmoniques à un niveau convenable.

- **Commutation Tx / Rx :**

Même s'il peut avoir deux fréquences différentes en transmission et en réception, le SM50 reste Half-Duplex et ne peut en même temps transmettre et recevoir.

La tension 8T est fabriquée par Q414, elle vaut 8 Volts lorsque le mobile transmet et 0 Volt en réception. En Tx, grâce à CR2650, la puissance du P.A. se rend au filtre harmonique et de là à l'antenne mais ne peut arriver au présélecteur car CR2651 en conduisant bloque la R.F.

En réception 8T ne polarise plus CR2650 ni CR2651; les signaux reçus à l'antenne traversent le filtre harmonique, L2651, C2653 pour se rendre au présélecteur.

Synthétiseur Microprocesseur

- **Le synthétiseur génère les fréquences de transmission et de première injection.**

Le cristal Y201 à 16.8 MHz sert de pilote au mobile. Une varicap (varactor) permet d'ajuster sa fréquence par un voltage, le WARP.

U251 contient deux Voltage Control Oscillators l'un servant à l'émission, l'autre fournissant la fréquence de première injection du récepteur. La sortie AUX3, Pin1 du synthétiseur U201 contrôle lequel des deux VCO fonctionne.

Un signal à la fréquence du VCO en fonction est retourné au synthétiseur PRE IN pin 20 pour y être divisé par un diviseur programmable.

Un comparateur de phase dans U201 compare la fréquence divisée du VCO en service à celle divisée du pilote Y201.

La sortie de ce comparateur de phase, le Steering Line (SL) est retournée au VCO en fonction pour asservir sa fréquence. CR241 asservira la fréquence du VCO de première injection de récepteur alors qu'en transmission CR251 asservira le VCO de transmission.

Le VCO de réception n'a pas à être modulé : il ne comporte qu'une varicap (varactor) connectée au SL.

Le VCO de transmission a un circuit de modulation avec la varicap (varactor) CR252. Il faut noter que pendant que le synthétiseur asservit la fréquence du VCO de transmission, une modulation externe (la voix + le PL) tente de changer cette même fréquence. Pour les fréquences élevées de modulation, la PLL est trop lente à réagir. C'est alors la fréquence moyennée du VCO qui est asservie par la PLL.

Par contre le PL qui a une période de l'ordre de la constante de temps du synthétiseur ne peut moduler directement le VCO : son signal à la varicap de modulation CR252 se trouve compensé par le SL à CR251 qui fournit en même temps un signal opposé dans son effort de maintenir –et ici parvenir- à maintenir stable la fréquence du VCO de transmission.

Pour parvenir à moduler aux basses fréquences, comme celles du PL ou du DPL, une partie du signal de modulation VCO MOD sera envoyée au WARP, modulant ainsi le pilote. En asservissant, le synthétiseur se trouve ainsi moduler le VCO.

Le pilote Y201 est divisé par 8 pour fournir à l'AFIC une référence de fréquence.

- **Microprocesseur :**

C'est le microcontrôleur U401. À la mise en marche sa remise à zéro (reset) provient de son régulateur de tension U404.

Son programme, ses mémoires flash et Ram sont internes, il communique en mode série avec l'AFIC U402, le synthétiseur U201 et le convertisseur Digital/analogique U403.

Deux lignes de son port parallèle PD1 et PD0 pins 50 et 47 sont utilisées pour communiquer avec un ordinateur externe aux fins d'alignement et de programmation.

D'autres parties de ses ports servent conjointement avec l'AFIC U402 au décodage et à la génération de PL ou DPL, aux accès externes du mobile via le connecteur d'accessoires J3 et au contrôle des différentes portes analogiques internes au mobile.

On peut remarquer le transistor Q401 près du cristal Y401 du microprocesseur U401. Son rôle est de forcer légèrement hors fréquence Y401 au cas où une de ses harmoniques viendrait interférer avec le signal reçu.