

Avant propos

Conception est réalisation du TR-TM 4 (ER 94) par la société L.M.T.

Ce texte est la traduction libre d'un article paru en 1968 sous la signature des 2 ingénieurs, messieurs J. J. Muller et J. Lisimaque de la société Le Matériel Téléphonique, Paris, qui ont participé à la conception de l'ER 94 partie de l'équipement TR-TM 4 qui a été en service pendant de nombreuses années dans l'Armée Française et la Marine Nationale.

Le texte original est en espagnol, il est extrait du numéro de la revue « Comunicaciones Eléctricas » . No 43/4. 1968 pages 350 à 359, disponible sur internet.

<http://archivodigital.coit.es/uploads/documentos/ec/1964-1970/vol43-1968-04.pdf>

La revue « Comunicaciones Eléctricas » est une revue d'entreprise éditée en espagnol par le groupe ITT, auquel appartenait en 1968 la société L.M.T. et un nombre important d'autres entreprises comme Lorenz, SEL, etc.

Cet article a été réalisé par utilisation d'un traducteur gratuit en ligne n'acceptant que 5000 caractères à la fois et repris en français technique littéraire par Guy f6eyg, en Juillet 2023.

Il est à usage non commercial, mis à la disposition des membres du CORMA, et dans le respect des droits des auteurs. (Il reste sans doute quelques coquilles).

Équipement portable à bande latérale unique, type TR-TM 4

Par

J. J. Muller

J. Lisimaque

Le Matériel Téléphonique, Paris

1. Introduction

L'équipement radio TR-TM 4 est une station militaire HF de faible puissance (10 à 15 W), il est entièrement équipée de semi-conducteurs, et destiné à l'infanterie, comme successeur des anciennes stations HF classiques en modulation d'amplitude.

Il permet des liaisons tactiques, à courte et moyenne portée (20 à 50 km), même lorsque les obstacles géographiques empêchent l'utilisation des stations VHF en modulation de fréquence. Les propriétés particulières des ondes courtes permettent également de réaliser des liaisons à de grandes distances (1000-2000 km), lorsque les conditions de propagation sont favorables.

La modulation choisie pour cet équipement est la Bande Latérale Unique (BLU ou A3j) en raison des multiples avantages présentés sur la modulation à double bande A3 que nous rappelons brièvement ci-dessous:

- Économie spectrale (bande passante réduite de moitié),
- Faible consommation en émission (puissance émise moyenne égale à 1/6 de la puissance moyenne en A3, pour la même portée),
- Plus grande protection contre le décalage et contre les distorsions de propagation de l'onde de ciel,
- Amélioration du rapport signal / bruit,
- Difficulté de localisation par la radiogoniométrie et meilleure qualité du silence radio (émission nulle pendant les silences et niveau HF fluctuant avec la modulation).

En contre partie la modulation BLU, sans porteuse, nécessite pour les oscillateurs utilisés à l'émission et à la réception, une très haute stabilité de fréquence, puisqu'il est essentiel que la gestion de l'appareil soit très simple et que l'opérateur puisse faire instantanément les liaisons, y compris à partir de différents sites.

Cette exigence est satisfaite par le synthétiseur de l'équipement TR-TM 4 qui donne, sur chacun des 10 000 canaux choisis par l'opérateur par commutateurs décimaux, une grande pureté et dont la stabilité correspond à une déviation de fréquence 10 fois plus petite que le décalage limite de 20 à 30 Hz, acceptable pour des liaisons en téléphonie BLU.

La différence de calage entre les oscillateurs de deux stations TR-TM 4, obtenue sans aucun réglage manuel, leur permet d'assurer des liens directs en télégraphie à fréquences vocales (système Coquelet), avec de très bonnes performances.

En résumé, les qualités nécessaires à une station destinée à être utilisée par du personnel non spécialisés, sont fondamentalement:

- Facilité d'utilisation,
- Robustesse mécanique - fiabilité et capacité à supporter des conditions de fonctionnement extrêmes,
- Stabilité et précision de fréquence,
- Poids et volume réduits,
- Facilité de démontage et d'entretien,
- Installations opérationnelles multiples et qualité électrique exceptionnelle,
- Compatibilité avec les équipements de la génération précédente.

L'étude, lancée en 1955, était destinée à réaliser un compromis entre ces demandes, qui sont en contradiction, grâce à l'expérience acquise par l'entreprise dans le domaine des liaisons en bande latérale unique, en utilisant les techniques et les composants les plus modernes, comme les transistors de puissance, les ferrites, les circuits oscillateurs à quartz de haute stabilité.

Le premier contrat pour un prototype a été obtenu en 1960, suivi par 7 années d'expérimentation sur 36 prototypes dont 8 ont été livrés à l'U.S. Signal Corps et 23 (dont 7 en version aéroportée) à l'Armée Française, pour laquelle l'équipement est maintenant fabriqué en série.

L'évolution rapide des techniques pendant ces sept années ont conduit à de nombreuses modifications technologiques pendant le développement, ils ont cependant été facilités par la construction modulaire de l'émetteur récepteur.

L'exposé ci-dessous sera dédié, après une brève description des caractéristiques générales de l'équipement, au détail des particularités techniques de l'émetteur récepteur.

2. Caractéristiques générales

2.1 Différentes versions de l'équipement

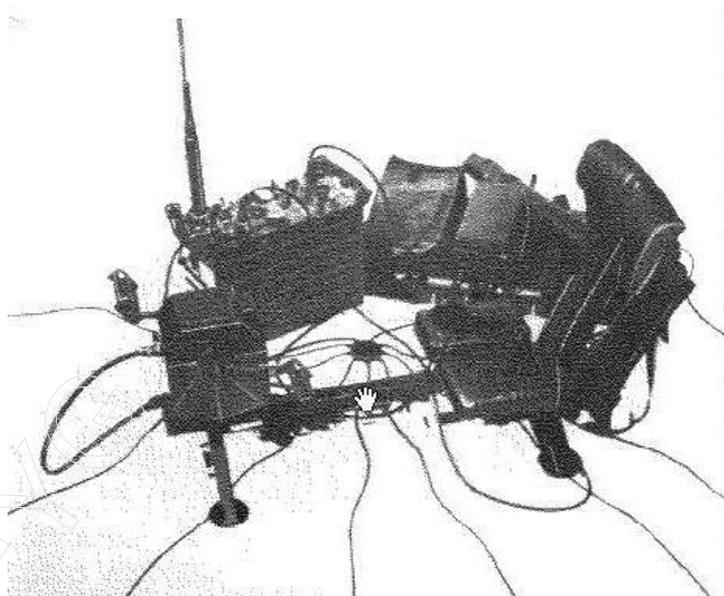
a) Version portable

Elle se compose:

- Emetteur récepteur portable ER-94, dans un paquetage simple destiné à être transporté sur le dos d'un soldat,
- Alimentation (batterie 12 Ah ou générateur à pédale et batterie tampon 3 Ah),
- Accessoires d'exploitation classiques (Combiné téléphonique, antenne portable de 5 m, manipulateur, etc.).

La partie alimentation et les accessoires se situent dans une deuxième charge.

Figure 1. Ensemble de l'équipement portable, avec un générateur à pédale et une batterie tampon.



b) Version véhicule

Elle se compose:

- émetteur récepteur ER-94,
- support anti vibration,
- boîte de connexion pour véhicules,
- accessoires d'antenne (antenne, câble de liaison) et d'exploitation (manipulateur, combiné téléphonique, casque, haut-parleur, etc.).

Figure 2. montrant l'ensemble de cette version véhicule.

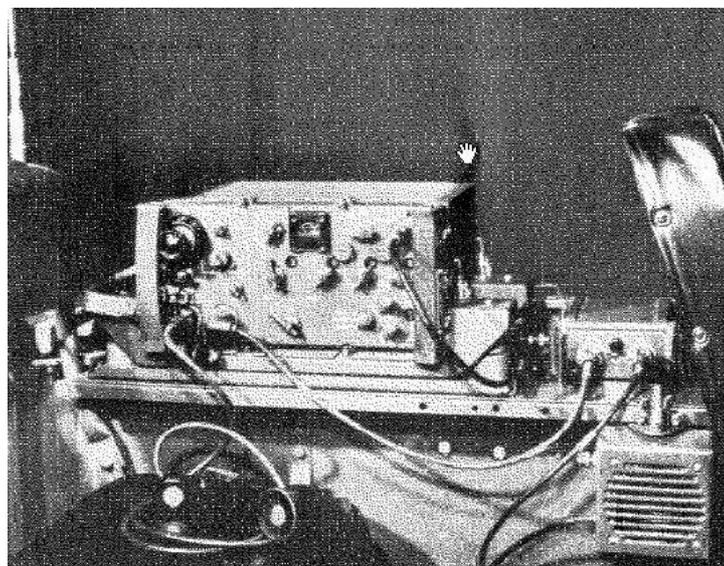




Figure 3. Face avant de l'équipement.

c) Autres versions –

Durant le développement du prototype, il a été étudié d'autres versions de l'équipement :

- Une version spéciale pour la Marine, avec une alimentation en 115 V alternatif.
- Une version avec télécommande et amplificateur de 100 W. pour une utilisation sur hélicoptère, dans les normes applicables aux équipements de bord.

L'émetteur récepteur de cette dernière version utilise tous les éléments de l'ER-94, sauf le panneau avant qui est remplacé par un autre qui permet le contrôle par télécommande.

L'amplificateur de 100 W, à base de tube à vide, est connecté à une unité de couplage d'antenne à inductance variable, avec télécommande.

2.2 Caractéristiques techniques principales

Gamme de fréquences:

2 à 12 MHz. - 10 000 canaux, un par kHz.

Modes d'exploitation:

A3j (bande latérale supérieure), A3h (émission BLU avec porteuse restaurée),
 A3 (réception),
 A1 large bande et bande étroite
 F1 (avec adaptateur)
 Écoute intersigne en position A1 bande étroite.

Stabilité de fréquence:

+/- 5.10-7 à court terme, entre -40 et + 55 °C et pour les tensions d'alimentation comprises entre 20 et 30 V.

Puissance de sortie:

10 à 15W en crête de modulation ou en régime continu sur charge 50 ohms.

Distorsion d'intermodulation:

25 dB max. (Test CCIR à deux signaux),
 Atténuation de la porteuse en A3j, 40 dB.

Bande passante BF:

400 ~ 3000 Hz émission en A3j avec porteuse supprimée.

Niveau de sortie BF:

50 mW. (Version portable),
500 mW. (Version véhicule).

Sensibilité au récepteur:

En A3j: 1 μ V de f.é.m. pour (S + B) / B > 10 dB
En A1 bande étroite : 1 μ V de f.é.m. pour (S + B) / B > 20 dB

Sélectivité du récepteur:

Atténuation de la fréquence Image : 70 dB.
Désensibilisation de 3 dB pour un signal parasite de 3 V séparé de 8% à +/- 30 kHz de la porteuse.
Transmodulation produisant une distorsion de 10% pour un signal parasite de 3V séparé de 4% à + 20 kHz de la porteuse.

Caractéristiques mécaniques:

Volume de l'émetteur récepteur: 15 dm³
Poids d'émetteur récepteur: 13,5 kg.

Autonomie:

L'autonomie de la version portable est de 20 heures pour 10% d'émission et 90% de réception.
(Avec la batterie de 12 Ah 24V).

Caractéristiques environnementales:

Fonctionnement de -40 °à + 55 °C, humidité 95% à 55 °C, avec le coffret ouvert.
Vibrations de 6 g à 55 Hz, sans support amortisseur, 6 chutes de 1,20 m. sur les 6 faces sans détérioration des caractéristiques.
Étanchéité (2 h sous 1 m d'eau). Résistance au vent avec sable et brouillard salin.

3. Description des circuits

3.1 Accord des circuits HF (Hautes Fréquences) (Généralités)

La vaste gamme de fréquences, avec un rapport de 6 entre les fréquences extrêmes, a constitué l'une des premières difficultés rencontrées dans l'étude de cette station. En effet, quel que soit le principe d'accord adopté (inductances, condensateurs variables ou diodes à capacité variable), il était nécessaire de prévoir la commutation des circuits sur quatre ou cinq sous gammes à l'aide d'éléments de réglage, ceux-ci ne pouvaient en aucun cas couvrir un rapport 6 entre fréquences extrêmes sur une seule gamme.

Cette commutation de sous-gammes ne peut pas toujours être réalisée par des circuits de commutation à diodes, en particulier pour les circuits d'entrée du récepteur où un tel mode de commutation générerait une intermodulation importante en raison des possibles perturbations de haut niveau, proches du signal utile.

Pour ces raisons, la commutation des sous-gammes est réalisée par un moyen manuel, par le seul bouton de choix des MHz, la correspondance des sous-gammes est un nombre entier de mégahertz selon le tableau suivant.

Chiffre des MHz	Emission et Réception		Oscillateur	
	Sous bande	Relation	Sous bande	Relation
2	2-3 MHz	1,55	3 - 4 MHz	1,33
3	3 - 4 MHz	1,33	4 - 6 MHz	1,5
4	4 - 6 MHz	1,5		
5			6 - 8 MHz	1,33
6				
7	8 - 12 MHz	1,5	9 - 13 MHz	1,44
8				
9				
10				
11				

L'oscillateur au pas de 1 MHz est accordé en relation avec la fréquence souhaitée.

Ce déplacement correspond à la valeur de la FI (fréquence intermédiaire) qui est unique.

On peut voir que le rapport des fréquences extrêmes, à l'intérieur des sous-gammes, est au maximum de 1,5. Une telle relation peut être réalisée en utilisant des variomètres, à partir de selfs à noyau plongeur, c'est ce qui a été choisi de préférence aux condensateurs variables car la taille et le poids sont réduits.

À l'intérieur de ces sous-gammes il aurait pu être choisi un réglage entièrement électronique, par des diodes à capacité variable (varactors). Ce choix, très attrayant en raison de la petite taille de ces éléments, n'a pas été suivi pour les raisons suivantes:

1) Les varactors ne peuvent pas être utilisés dans la chaîne d'émission, car les signaux à haute fréquence sont de niveaux élevés.

2) Le réglage électronique de l'oscillateur sur une large gamme de fréquences aurait conduit à un signal de pureté moindre, ce qui provoquerait une dégradation du rapport signal / bruit, particulièrement sensible en télégraphie.

Pour ces raisons, l'accord de tous les circuits se fait mécaniquement par déplacement de noyaux de ferrite coulissants dans les bobines, selon une loi telle, que le déplacement de ces noyaux produit une variation linéaire de la fréquence de réglage.

Le principe utilisé est le même que celui de l'équipement SEL-25 de SEL, décrit dans "Communication Electrique", Vol. 42, n ° 1, 1967. Il faut cependant souligner que dans le récepteur de la station TR-TM 4, en raison de la bande étroite du filtre du présélecteur, les circuits doivent être réglés avec une extrême précision, de l'ordre de 0,7% de la fréquence, en prenant en compte les variations de température.

Ce degré de précision est obtenu en exigeant une grande linéarité dans la réalisation des inductances, de l'ordre de 0,1% ($\Delta f / f$), et une tolérance d'erreur dans la fréquence d'environ 0,26% à cause des tolérances dans le positionnement mécanique des noyaux plongeurs, c'est-à-dire +/- 0,05 mm d'erreur absolue, en tenant compte du déplacement total des noyaux (19 mm).

Ces deux dernières conditions pointent les problèmes techniques qu'il a été nécessaire de surmonter pour atteindre une telle précision dans le petit volume disponible et en tenant compte des conditions extrêmes que la station doit endurer.

Afin que la station puisse être utilisée pratiquement en permanence avec des résultats satisfaisants, même par des opérateurs non spécialisés, il a été nécessaire de minimiser les procédures opérationnelles. Pour éviter tout réglage manuel très précis des circuits (oscillateur et récepteur), il a été décidé que le simple choix de la fréquence de travail (nominalement la porteuse supprimée) effectuée directement le réglage.

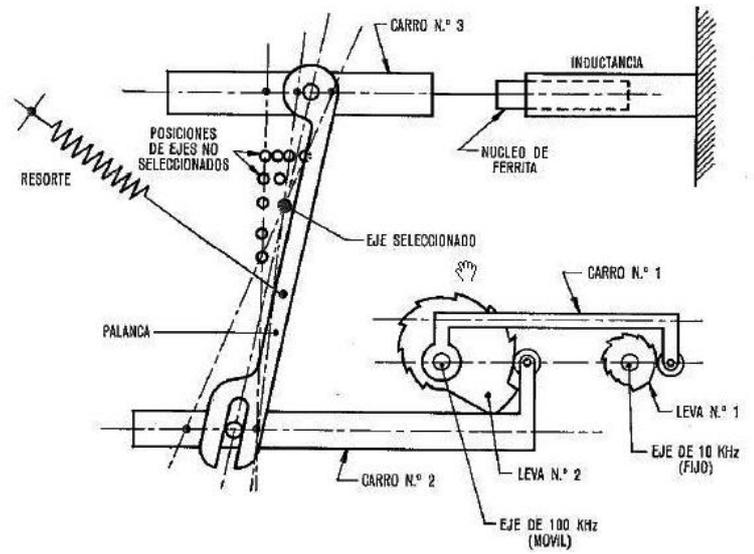
Au lieu d'utiliser un servomécanisme, organe qui aurait été assez compliqué, volumineux, lourd et lent, en tenant compte de la précision qui est demandée, il a été préféré un fonctionnement direct par couplage des boutons de fixation de la fréquence vers les noyaux plongeurs au moyen d'un mécanisme original qui se comporte comme un convertisseur numérique analogique, dont le principe est décrit ci-dessous.

3.2 Mécanisme de réglage (voir Fig. 4)

Les boutons des centaines et des dizaines de kHz actionnent des cames dont les formes varient séquentiellement par augmentation respectivement égal à 1/10 (came 100 kHz) et 1/100 (came 10 kHz) du déplacement total du noyau (19 mm.). Cela s'obtient par l'ajout des rapports de ces deux cames, un premier mouvement de déplacement, qui correspond exactement au déplacement des noyaux de l'émetteur et du récepteur dans la 1ère sous-gamme de 2 à 3 MHz. (chariot n°2).

Dans les autres sous-gammes, pour une variation de fréquence de 1 MHz le déplacement des noyaux est réduit dans une certaine relation dépendant de la sous-gamme: par exemple, dans la dernière sous-gamme (8-12 MHz.), avec le même déplacement, chaque saut de 1 MHz est de 1/4 du déplacement total, soit 4,75 mm. Pour chaque bande de fréquence la relation entre les mouvements de contrôle et les mouvements des éléments contrôlés est modifiée dans une bande donnée, la relation est constante mais le point de départ se déplace à chaque saut de 1 MHz. La division et le déplacement sont obtenus par le mouvement d'un levier qui tourne autour d'un axe et qui change de position selon le chiffre de MHz entier.

Fig. 4 Principe du mécanisme de placement.



Il y a un total de 10 axes (eje) qui sont automatiquement sélectionnés en fixant les MHz. Le levier (palanca) est articulé avec les chariots (Carro) n°2 et n°3 qui commandent les noyaux plongeurs. Au moment de changer les MHz un dispositif spécial, retardé par un amortisseur mécanique, libère le levier des axes et les rétentions des roues dentées pour que la commutation se fasse librement. En position de trafic, les boutons de commande sont désaccouplés pour éviter des fausses manœuvres.

La figure 4 montre les principaux éléments de ce mécanisme et la figure 5 le détail du levier et les axes de sélection. En résumé, l'ensemble se positionne à partir du chariot n°2 qui est libre, puis deux jeux de 10 axes commutables, puis les chariots n°3.

On voit que les éléments utilisés pour faire la transformation mécanique sont simples et peu nombreux à l'exception des chariots n°3 et du châssis rigide qui auraient également été nécessaire pour une commande de servomécanisme.

Les trois sous-ensembles régis par le mécanisme sont fixés directement sur le châssis ; chaque sous-ensemble accorde simultanément 2 ou 3 circuits en attente par une opération de commande unique dans un même mouvement mécanique.

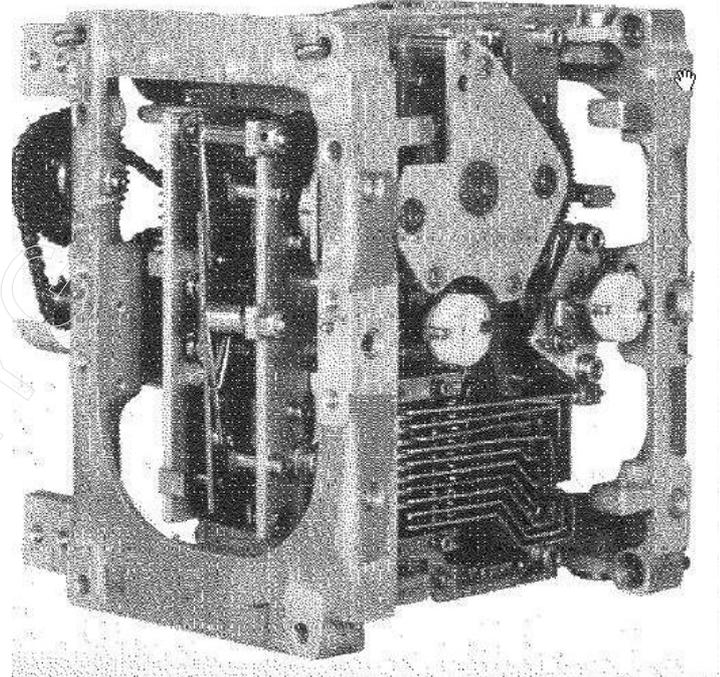
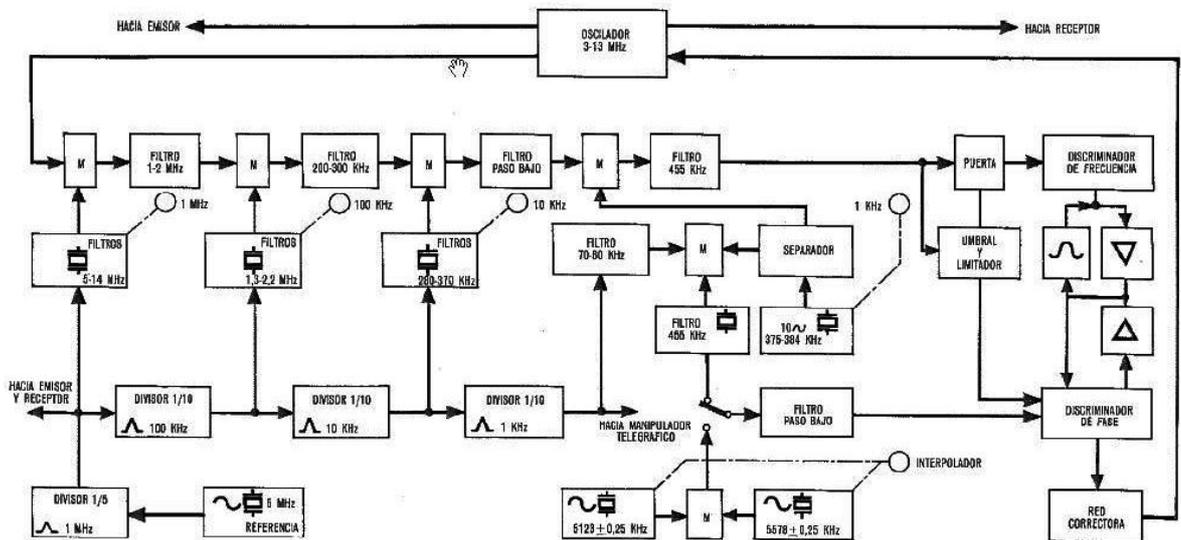


Fig. 5 Mécanisme d'accord des circuits HF.

3.3 Oscillateur local et boucle de contrôle

L'oscillateur 3-13 MHz, dont on a parlé dans la section 3.1, est un auto-oscillateur L-C contrôlé en phase par une sortie de signal de référence du synthétiseur, dont le schéma synoptique peut être vu dans la figure 6 : Schéma de l'oscillateur synthétisé ci dessous.



Le signal de sortie de l'oscillateur qui est constitué de mélanges et filtres successifs, filtrés à partir des harmoniques et subharmoniques du signal à 1 MHz obtenu par division du signal de référence à 5 MHz.

Ainsi, après la 3^e opération un signal est disponible entre 70 et 80 kHz, dans lequel il n'y a plus qu'à introduire les informations des KHz avant de l'appliquer au discriminateur de phase. La solution la plus simple pour effectuer cette opération, est de continuer afin d'obtenir un signal de 1000 Hz, avec lequel il serait effectué un contrôle de phase.

Cette solution simple a dû être éliminée, pour les raisons principales suivantes:

1er. Cela aurait conduit à des circuits à très basse fréquence, par conséquent, lourd et volumineux.

2e. Le résidu de 1 kHz qui apparaît dans le discriminateur de phase aurait été très difficile à éliminer.

3e. La fréquence de coupure de boucle aurait été très basse et n'aurait pas pu permettre de corriger les scintillements de phase produits en particulier par les vibrations.

Il a donc été préféré une comparaison de phase à une fréquence plus élevée (455 kHz), le discriminateur reçoit, d'une part un signal de 455 kHz provenant de l'analyse obtenue par mélange du signal précédent (entre 70 à 80 kHz.) avec des signaux de 375 à 384 kHz, obtenus à partir d'un oscillateur à 10 quartz commutés, et d'autre part, un signal de 455 kHz provenant de la modulation d'un spectre de raies séparées de 1 kHz sur une bande de fréquence de 70 à 80 kHz avec les signaux du même oscillateur à quartz. Par ce procédé, la déviation propre de cet oscillateur auxiliaire est entièrement éliminée de l'information KHz qui est introduite par la commutation électronique des 10 quartz.

L'interpolation continue entre les valeurs entières des kHz a été demandée par les utilisateurs car elle nécessaire pour le trafic normal, bien que non nécessaire entre deux équipements du type TR-TM 4, mais principalement pour assurer provisoirement la compatibilité d'emploi dans les liaisons avec d'anciennes stations à bande latérale unique dont la stabilité est moyenne et dont l'utilisation exige un accord.

Cette interpolation est facilement obtenue en remplaçant le 455 kHz de synthèse pour un signal variable en +/- 0,5 kHz d'environ 455 kHz, obtenu par mélange de deux oscillateurs à quartz de 5123 et 5578 kHz, dont les fréquences sont décalées en sens inverse de +/- 0,25 kHz à l'aide des varactors. La déviation absolue du signal de battement est suffisamment petite si les variations individuelles des 2 Quartz (en coupe AT) dues à la température sont faibles, car ils sont fabriqués selon des normes similaires.

Le signal d'interpolation apparaît, si souhaitée, sur le signal de sortie, à l'identique de l'oscillateur de 10 quartz de 375 à 384 kHz, dans ce cas il n'est pas compensé, ce signal d'interpolation peut présenter, un certain temps après le réglage initial, une erreur de quelques dizaines de cycles qui sont encore très acceptables car le trafic est effectué dans ce cas avec des stations de stabilité médiocre. Le réajustement de la fréquence est recalé, de temps en temps, sur l'émission reçue.

En utilisation normale de l'équipement, avec l'interpolateur hors service, l'écart de fréquence du signal de sortie, contrôlé par la phase, se maintient à quelques cycles près de la fréquence sélectionnée (erreur garantie maximale de 6 Hz à 12 MHz, dans toutes les conditions).

3.4 Le contrôle de phase

Le processus de capture et de maintien du contrôle de la phase est réalisé:

1er. Par un balayage en fréquence,

2e. Discriminateur de fréquence,

3e. Discriminateur de phase.

Malgré la précision obtenue pour le positionnement des noyaux de l'oscillateur entre 3 et 13 MHz, la déviation peut atteindre environ 120 kHz dans le haut de la plage en fonction de la fréquence sélectionnée, lorsque le contrôle de phase n'a pas été établi. Dans ce cas extrême, la chaîne d'analyse de fréquence ne délivre aucune information aux discriminateurs, à cause de l'action des filtres sélectifs interposés. Il est alors nécessaire, de faire varier la fréquence de l'oscillateur au-delà par une extension correspondant aux écarts maximaux de la fréquence naturelle pour qu'elle passe, à un instant donné, par la valeur de fréquence exacte choisie. Ce balayage est effectué par la relaxation de l'amplificateur de courant qui suit le discriminateur de fréquence. Lorsque le contrôle de phase est établi, la forte contre-réaction due au contrôle, stoppe cette relaxation et supprime le balayage.

Le discriminateur de fréquence est uni de manière permanente au discriminateur de phase et cela augmente la plage de prise de contrôle.

Le discriminateur de phase fournit deux signaux d'erreur. L'un d'eux est fortement amplifié dans un amplificateur de courant continu de grande constante de temps.

Ce courant, après amplification sert à corriger les déviations lentes et importantes de l'oscillateur. Le deuxième signal n'est pas amplifié et sert à corriger rapidement les petites déviations de l'oscillateur.

Le signal de contrôle de phase appliqué à l'oscillateur est donc la somme:

- du signal amplifié du discriminateur de fréquence,
- du signal d'erreur de phase, fortement amplifié et d'une grande constante de temps,
- de l'erreur de phase non amplifiée et petite constante de temps.

Le signal de contrôle de phase s'applique à l'oscillateur, après avoir parcouru un réseau correctif qui modifie le gain et la phase des signaux en fonction de la fréquence de travail, pour que le contrôle soit stable.

La courbe gain-fréquence du contrôle est finalement en accord avec le diagramme de Nyquist, elle est représentée figure 7, on voit dans cette figure que la fréquence de coupure correspondant au gain unitaire est de 35 kHz.

Le discriminateur de fréquence n'intervient pas dans le régime normal établi, donc une tension théoriquement nulle ou pratiquement très petite, dû uniquement à un désaccord ou à la dérive des circuits. Au contraire, la tension importante fournie lorsque la fréquence de l'oscillateur 3 à 13 MHz est très loin de la valeur attribuée, conduit rapidement à être dans la zone de capture du discriminateur de phase. De la même manière la capture est effectuée par le discriminateur de fréquence, lorsqu'un choc provoque une excursion en fréquence en dehors de la zone de contrôle du discriminateur de phase. De cette façon, on sait contrôler rapidement l'oscillateur en phase sans que doive intervenir l'oscillation à balayage lent et l'opérateur ne se rend compte de la coupure que sous forme d'une légère impulsion de bruit.

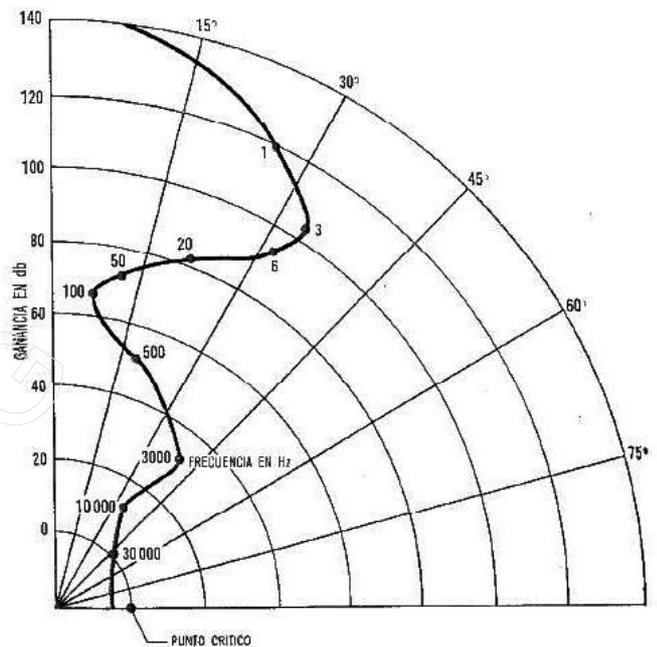


Fig. 7 Diagramme de Nyquist

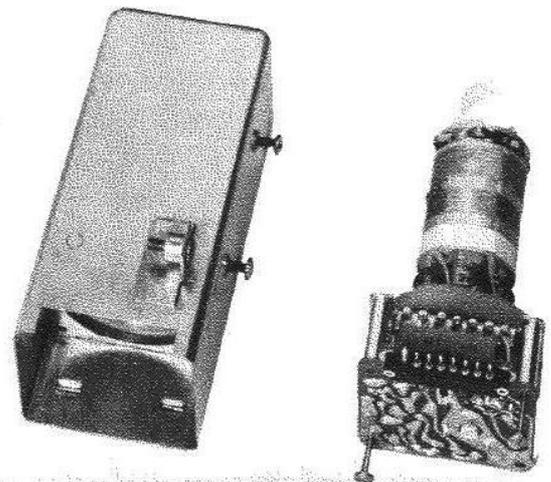
Cette fonction est particulièrement efficace lorsque l'équipement est exposé à de violents chocs ou des vibrations. Enfin, il peut également être remarqué, dans le schéma de l'oscillateur (Fig. 6), un aiguillage, un amplificateur à seuil et un limiteur qui précèdent les discriminateurs. La fonction de ces organes est d'éviter la capture de signaux parasites à bas niveau produits dans les modulateurs. En plus des précautions prises dans les circuits de traitement, cela garantit que la synchronisation ne peut se faire que sur le signal principal, dont le niveau est très supérieur. Les fréquences images sont atténuées fortement par les filtres de bande de la chaîne de traitement.

Les précautions prises dans la réalisation de ce contrôle, décrit ci dessus, permettent d'obtenir un signal d'oscillateur ayant un scintillement de phase inférieure à 0,012 radians (0,7 grades) pour toutes les fréquences de la gamme.

3.5 Référence de fréquence

L'oscillateur de référence est contrôlé thermostatiquement à 85°C dans un four à contrôle asservi, et dont l'isolation thermique est effectuée à l'aide d'un vase Dewar. Le quartz utilisé est un cristal à coupe AT qui oscille à 5 MHz avec un décalage de 3° degré à forte surtension (> 10+ 6),

Fig. 8 Oscillateur de référence.



Cet oscillateur qui forme un sous ensemble indépendant facilement accessible, peut être remplacé par un oscillateur compensé (OCXO), sans thermostat, lorsque cette technique permettra industriellement d'atteindre les mêmes caractéristiques de fonctionnement que ceux de l'oscillateur actuel.

De cette façon, le temps d'attente nécessaire pour au chauffage du four sera évité, bien qu'en exploitation normale ce temps est utilisé pour l'installation de l'antenne et des différents accessoires, donc peu pénalisant.

La stabilité de fréquence obtenue à court terme est meilleure que 10-7. A long terme le vieillissement a été mesuré, il est de l'ordre de 3×10^{-7} par an.

Un dispositif de réglage incorporé à l'appareil permet à l'utilisateur de réajuster, si nécessaire, l'oscillateur de référence en recevant les émetteurs de fréquences étalons internationaux sur 2,5, 5 ou 10 MHz.

3.6 Circuits d'émission et de réception

Une partie des circuits est utilisée en émission et en réception pour simplifier l'émetteur récepteur, qui est uniquement utilisé en simplex. Les circuits communs sont l'oscillateur (décrit précédemment), l'amplificateur de fréquence intermédiaire, filtre à quartz, filtre HF du présélecteur, ainsi que le démodulateur et l'amplificateur basse fréquence (pour l'écoute entre les signaux en télégraphie).

La figure 9 représente le schéma des interconnexions des différents sous ensembles du TR-TM 4-B

La figure 10, ci-dessous, montre une vue du coffret ouvert, avec la répartition des sous ensembles de la station. Les circuits qui nécessitent un accord précis ou une sélection mécanique des sous-gammes sont tous disposés autour du mécanisme. Dans la figure 10, sont visibles, de part et d'autre sur l'avant, l'émetteur et le récepteur. Ils sont réunis au reste de l'équipement par des connecteurs enfichables.

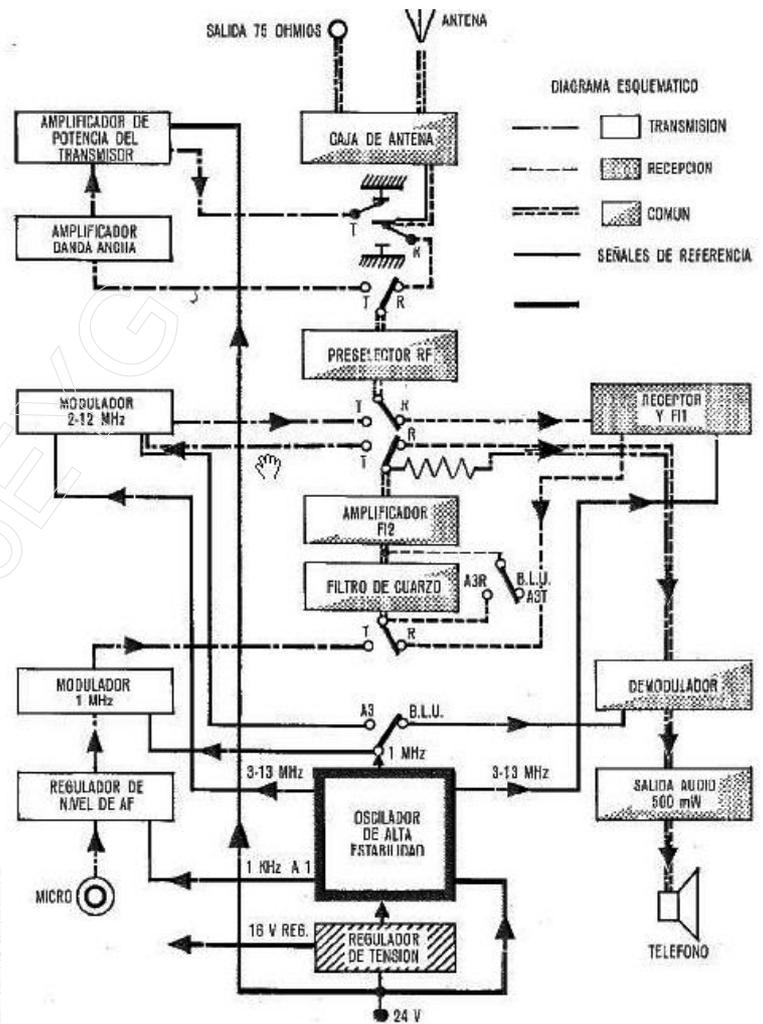
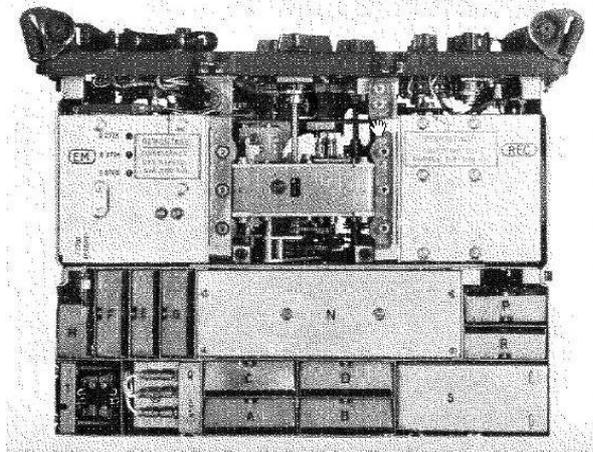


Fig. 10 vue coffret ouvert

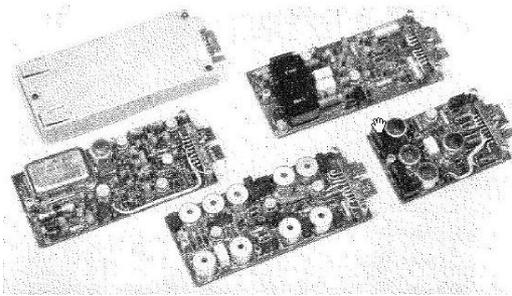


Fig. 11. Vue de 5 circuits imprimés dont 4 sont sans leur capot de protection.

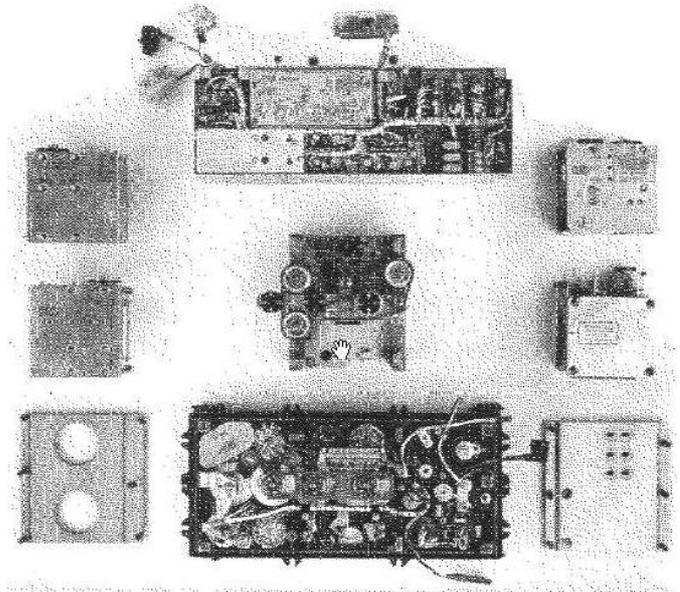


Fig. 12 Vue de l'équipement démembré.

Les autres circuits sont réalisés sur des cartes imprimées enfichables (repérées par des lettres de A à T) protégées par des couvercles isolants en fibre de verre - polyester stratifié.

Ces cartes, après inspection et ajustement, sont recouvertes d'un vernis spécial qui lie solidement les composants et protège les circuits de l'humidité (Voir Fig. 11).

Les cartes ont des points de test et des marquages utiles pour la maintenance.

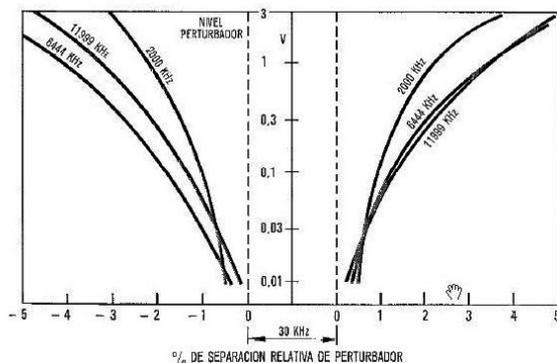
Ils sont enfichés dans des alvéoles du châssis qui servent de blindage.

Les circuits de l'oscillateur à haute stabilité sont décomposés en divers circuits imprimés A, B, C, D, I, J (en dessous de S), M, N, P, R, filtre K, les filtres harmoniques (en dessous de N) et l'oscillateur (sous le bloc récepteur). Tout ceci représente environ la moitié du volume total de l'équipement.

La construction modulaire peut être vue sur la figure 12 qui représente l'équipement démembré en sous-ensembles.

3.7 Récepteur

Le circuit récepteur est lui-même précédé par un étage présélecteur formé par deux circuits accordés couplés, qui constituent un filtre très sélectif protégeant l'étage d'entrée contre toute intermodulation créé par les fortes perturbations qui peuvent se produire à proximité du signal utile, ainsi que contre la fréquence image (atténuée de plus de 70 dB.). Ce présélecteur est également utilisé en transmission, commuté de réception à émission par des relais miniatures pour éviter toute intermodulation à la réception.



À la réception, à la fréquence la plus élevée de la gamme (11 999 kHz.), un signal parasite de niveau 1V dans la prise d'entrée de la station n'apparaît qu'avec une intermodulation plus faible que le signal utile s'il est séparé de plus 200 kHz du signal reçu. Pour des niveaux parasites plus faibles (10 mV), la séparation est réduite à 10 kHz. Les caractéristiques de la désensibilisation et de l'intermodulation sont données dans les figures 13a et 13b, (mesures faites conformément aux indications de la section 2.2).

Fig. 13a caractéristiques de désensibilisation.

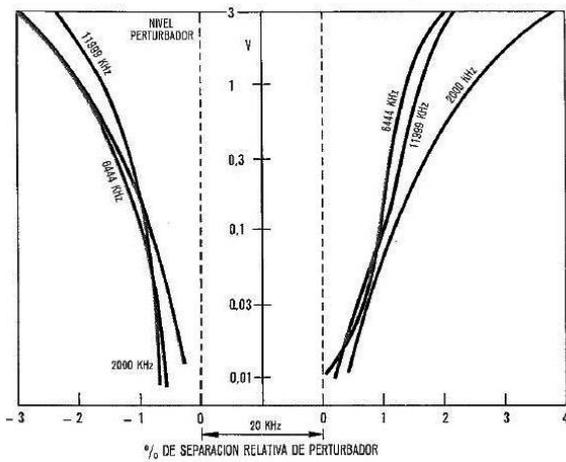


Fig. 13b Caractéristiques de transmodulation.

L'étage d'entrée du récepteur, qui utilise un transistor à faible bruit (AFY16M), comporte un 3^e circuit HF accordé suivi d'un étage de changement de fréquence réglé sur 1 MHz à travers un filtre formé par deux circuits couplés, ce qui donne un amplificateur à deux étages avec contrôle automatique de gain pour l'étage d'entrée.

Ce premier amplificateur FI est utilisé comme filtre en téléphonie compatible (A3h), il est suivi, dans le cas de téléphonie en bande latérale unique (BLU) ou en télégraphie, par un filtre à quartz constitué de deux cellules Jaumann, chacune avec 4 quartz. À ce filtre sont associés les commutateurs électroniques correspondant aux différents modes de fonctionnement (Emission, réception, A3, A3j, A1).

En raison du fort gain concentré dans le seul étage de fréquence intermédiaire de 1 MHz, il a été nécessaire de le distribuer en deux amplificateurs séparés par le filtre à quartz.

Le contrôle automatique du gain du premier amplificateur (situé dans le bloc récepteur), est commun avec l'étage d'entrée RF. Il agit sur la polarisation des transistors.

Le deuxième amplificateur à son propre contrôle de gain généré dans les étages de sortie, il agit sur un atténuateur à diodes situé à l'entrée de l'amplificateur.

Par cette procédure, des signaux corrects peuvent être garantis sur la gamme entre 1 μ V et 100 000 μ V. L'amplification totale du récepteur, du signal entrée antenne RF au signal de sortie audio, après démodulation, est d'environ 170 dB, dont 50 dB compensent les pertes de filtres et la démodulation, ce qui laisse un gain utile de 120 dB.

3.8 Amplificateur de transmission

Cet amplificateur reçoit les signaux filtrés bas niveau en sortie du 2ème mélange. Un amplificateur large bande qui occupe une seule carte imprimée convertit ce niveau en un signal de d'environ 1 V sur 100 ohms. Cette tension de sortie alimente directement le bloc émetteur composé de deux étages d'amplification à circuits accordés, en sortie ce niveau atteint 24 à 32 V sur une impédance de 50 ohms (12 à 20 W).

L'étage de sortie a été étudié au départ pour utiliser le transistor 2n1899 qui a des qualités indéniable de robustesse, mais qui présente des limites, en particulier le manque de linéarité à niveaux élevés, une capacité de collecteur importante, des variations importantes d'Ic, une Ft faible, etc. La technique ayant évolué dans le domaine, ce transistor a été remplacé par un modèle plus performant, transistor de meilleures caractéristiques dont la fiabilité a été vérifiée. La figure 14 montre le taux d'intermodulation typique en fonction de la puissance de sortie (2 N 1899 et BLY 40).

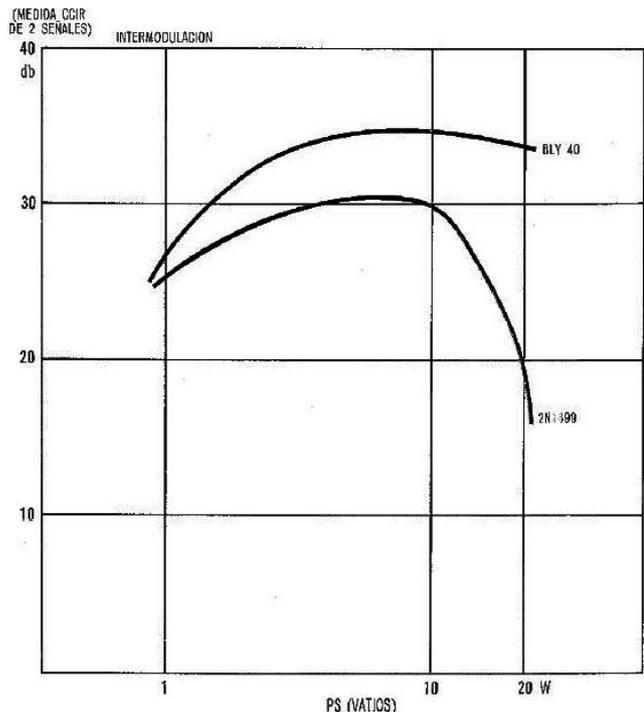


Fig.14 Courbes d'intermodulation typiques des BLY40 et 2N1899.

3.9 Circuits d'adaptation des antennes

La station, dans sa version portable ou sur véhicules, utilise des antennes fouet de 3 à 5 m ; pour réaliser l'adaptation aux circuits de sortie, il y a un sous ensemble contenant également le relais coaxial RF; l'accord se fait simplement au moyen d'un bouton de réglage et d'un dispositif de mesure.

L'adaptation de ces types d'antennes, celles-ci étant toujours capacitive dans la plage de 2 à 12 MHz, est réalisée par un circuit en L qui commute, pour chaque sous gammes, simultanément une capacité en dérivation sur la sortie 50 ohms de l'étage de puissance et une inductance variable en série avec l'antenne. Les performances de ce circuit varient de 25 à 95%, selon les fréquences.

La petite hauteur efficace des antennes aux fréquences basses de la plage couverte, conduisent à l'utilisation, pour l'adaptation, d'inductances d'une grande valeur où les pertes sont inévitables. De plus, les tensions obtenues à ces fréquences, après transformation de l'impédance, atteignent 1 200 V sur les bornes de sortie. En se référant aux valeurs citées à la section 3.8 à une fréquence de 2 MHz le rapport entre la tension en entrée de l'étage amplificateur à large bande et la sortie à l'antenne, atteint 240 000. Il a donc été nécessaire de prendre des précautions très spéciales pour assurer la continuité des masses et éviter les retours HF aux fréquences élevées provenant des accessoires situés dans le champ direct de l'antenne (combiné micro écouteur, manipulateur, etc.).

L'adaptation sur des antennes longues et doublets, pour la diffusion en ondes de ciel, est réalisée à partir d'une sortie coaxiale 50 ohms au moyen d'une boîte d'adaptation spéciale qui est uniquement utilisée dans les installations semi fixe.

3.10 Filtrage et commutations

Le filtrage à large bande de la chaîne d'analyse de fréquence (voir paragraphe 3.3), se fait au moyen de filtres L-C, à l'exception du filtre à quartz 455 kHz. La sélection des harmoniques et des sous harmoniques de la fréquence de référence est effectuée par les filtres bande étroite en échelle qui utilisent 2 ou 3 quartz.

Tous ces filtres ne nécessitent aucun ajustement particulier et ont une grande stabilité de caractéristiques dans temps et selon la température.

La séparation de la bande latérale utile à 1 MHz est obtenue à travers un filtre Jaumann à 8 quartz.

Les différents modes de fonctionnement (A3, A3h, A1 Bande étroite, A3j) qui sont utilisés dans cette station pour assurer la compatibilité avec les stations de la génération précédente, ont besoin de commutations supplémentaires des différents circuits. Si le signal est à niveau suffisamment faible qu'il ne puisse pas générer d'intermodulation, la commutation se fait à travers des diodes. Dans les autres cas, des relais sont utilisés (présélecteur, relais RF, etc.)

4. Technologie

L'équipement se compose d'environ 2 000 composants électriques pour l'ensemble desquels un calcul de fiabilité a été fait pour une prévision MTBF (temps moyen entre les pannes) située entre 760 et 1 700 heures selon la violence des conditions appliquées à l'équipement et au nombre de manœuvres par heure. La fiabilité garantie correspond à un MTBF nominal de 400 heures au minimum.

Le mécanisme de sélection des fréquences a subi 50 000 manœuvres de sélection sans dégradation sensible dans sa précision.

Les composants utilisés dans l'équipement ont été sélectionnés parmi ceux approuvés à la fin de 1966 par les administrations et les composants plus modernes ont été éprouvés pendant un an lors d'essais complets d'homologation (pour ceux qui ont été fabriqués au cours de l'année 1967, il y eu 70 essais complets de nouveaux composants).

Les circuits imprimés, équipés de leurs composants, subissent avant leur ajustement et leurs tests, des cycles de vieillissement qui permettent de réduire la proportion de pannes qui sont généralement produites dans les équipements de fabrication récente. Tous les sous ensembles sont soumis individuellement après ajustement à des essais complets en température.

Cet ensemble de précautions, visant à obtenir la fiabilité nécessaire dans un équipement dans lequel les considérations de poids et de volume empêchent l'ajout de nombreux circuits redondants ont conduit à exclure des solutions attrayantes, mais trop récentes, sans les avoir expérimentées. Il n'est pas possible en effet de courir le risque de manque de fiabilité sur un matériel de grande diffusion destiné à des opérateurs non spécialisés pouvant être soumis à un traitement très dur.

5. Accessoires

La station utilise des accessoires classiques en service dans les différentes armées (microphone, récepteur de tête, antennes, etc.). Pour cette station, des batteries spéciales de cadmium-nickel ont été étudiées, avec possibilité de charge rapide (3 et 12Ah, 24 V), ainsi que leurs appareils de charge automatiques. L'autonomie obtenue avec la batterie 12Ah, est environ un jour.

Dans la version véhicule, l'alimentation est réalisée à partir de la batterie 24 V du véhicule à travers une boîte de connexion qui comporte un ensemble de protection contre les transitoires d'alimentation et un amplificateur BF de 0,5 W. qui permet d'alimenter un haut parleur.

Enfin, pour obtenir l'autonomie pratiquement illimitée, même pour un opérateur loin de n'importe quelle base d'appui, ou s'il n'est pas possible de recharger les batteries, il existe un générateur à manivelle autonome, qui utilise une batterie 3 Ah en tampon et permet d'alimenter la station pendant l'émission ou la réception. Ce générateur est fabriqué par la Manufacture d'Armes de Tulle.

Conclusion

La station TR-TM 4 est un matériel de communication qui répond en même temps aux caractéristiques d'une station mobile pour les véhicules et une station portable destinée à la troupe.

La principale préoccupation concernant la simplicité d'utilisation a conduit à réduire au minimum le nombre d'opération de réglage manuel, par le biais d'une solution mécanique, qui s'est révélée satisfaisante pour obtenir la précision nécessaire dans toute la gamme HF.

L'excellente stabilité de la fréquence de cette station assure une exploitation simple en réseau et permet des utilisations particulières en télégraphie.

La portée de 50 km, par onde de sol, qui dépasse celle d'un équipement VHF portable ou mobile, peut être augmentée dans la version véhicule par l'ajout d'un amplificateur de 100 W pour couvrir les zones inaccessibles aux communications VHF.

Remerciements

La station TR-TM 4, comme tous les matériels modernes, est le fruit d'un travail d'équipe.

Les auteurs ont le plaisir de trouver ici l'opportunité de transmettre leurs remerciements à tous ceux qui ont collaboré, dans les services de l'armée Française et de l'US Signal Corps des États-Unis, et les services techniques et de fabrication de LMT, coordonnés par M. Loeffler.

J.J.Muller Né en 1910 à Bâle, en Suisse. Diplômé en 1934 de l' «Ecole Centrale des Arts et Métiers» à Paris, France. En 1936, il a obtenu le diplôme de docteur en «Science et Technique» dans le « Polytechnicum » de Zurich, en Suisse, où il s'est investi dans la recherche sur les magnétrons et dans le développement d'un système de télévision en circuit fermé primitif.

Il a rejoint « Le Matériel Téléphonique » en 1940, a été nommé Ingénieur en chef radio en 1947 et directeur technique en 1957. En plus de l'étude des théories avancées sur le klystron et la distorsion d'alimentation, il a pris la responsabilité de la conception des émetteurs B.L.U. haute puissance, des équipements radios PTM dans un réseau radio militaire tactique et d'autres systèmes de télécommunications.

Il a publié des articles en Suisse, en France, en Allemagne et au Royaume-Uni.

Il est membre de Société Française des Electroniciens et Radioélectriciens et est également «membre senior» de l'IEEE.

J. Lisimaque. Né à Paris en 1921. Il a étudié à l' « Ecole Supérieure de Physique et de Chimie » de Paris, où il a obtenu le diplôme d'Ingénieur Physicien en 1942. Entre 1943 et 1945, il était ingénieur dans l'entreprise Lorenz AG à Berlin, dans la division des tubes électroniques et en 1945, il est allé au service des émetteurs du Laboratoire Central de Télécommunications et par la suite « Le Matériel Téléphonique » à Boulogne où il s'est spécialisé dans la fabrication d'émetteurs à bande latérale unique et de récepteurs associés pour la radio à une grande distance, utilisés par les PTT et l'Armée Française

Il a commencé les travaux techniques sur les synthétiseurs en 1955, ainsi que sur un équipement à bande latérale unique pour les ondes courtes, il est actuellement responsable de l'étude des équipements portables et aérotransportés, en bande latérale unique.

M. Lisimaque est membre de la Société Française des Electroniciens et Radio Electriciens.