

Le système TDOA (« Time Difference Of Arrival ») en radiogoniométrie et sa transformation en Homing

F1LVT (Jean-Paul) ADRASEC38

Contact : F1LVT@yahoo.fr

Avec la collaboration de F6EAJ, Didier

Pour rechercher des balises d'avion, l'efficacité du système Homing est remarquable. Que ce soit le L-Per américain (commercialisé en France par GES) [1], ou bien des systèmes de construction française comme ceux de Euclide System (F1GHO), le principe du Homing est de très loin le mieux adapté pour la modulation particulière de nos balises. Avec leur indicateur « Gauche-Droite », ils fournissent une précision de quelques degrés et ils sont adaptés à la fois à la recherche embarquée et à la recherche à pied. Ces systèmes fonctionnent avec une antenne Homing, et un boîtier qui intègre la commande de l'antenne, la réception des signaux, le récepteur AM, et l'affichage de la direction sur un galvanomètre « Gauche – Droite ».

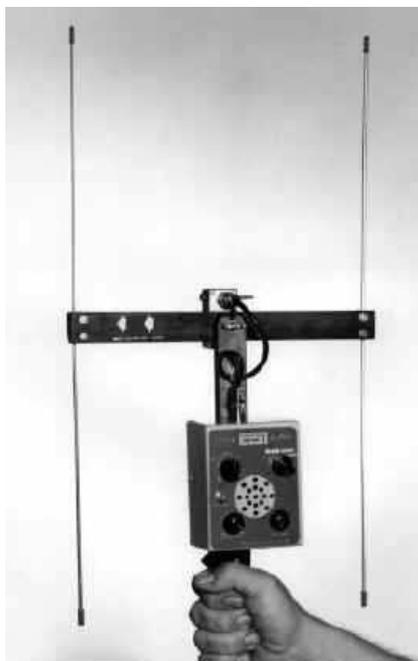


Photo 1 : Little L-Per avec une antenne 243 (doc. Ltronics)

Commencer à introduire le système TDOA en parlant du système Homing peut paraître surprenant. Même si physiquement ils se ressemblent, ce sont 2 systèmes qui n'ont rien à voir. Le TDOA fonctionne avec une démodulation FM, alors que le Homing est en AM. Les antennes se ressemblent extérieurement : 2 dipôles verticaux espacés d'un quart d'onde, mais elles fonctionnent de façon complètement différente : commutation à la base du fouet pour le TDOA et commutation centrale pour le Homing. Quant au fonctionnement, le TDOA compare la phase de 2 signaux et mesure la « différence de temps d'arrivée » par démodulation FM, alors que le Homing compare les niveaux de réception sur une antenne à directivité Gauche-Droite. Le TDOA ne fonctionne qu'avec une porteuse, alors que le Homing supporte bien la modulation hachée des balises.

Alors quel est le rapport entre le TDOA et le Homing ?

Eh bien des radioamateurs de la région Rhône Alpes se sont aperçus que certains schémas de montage de TDOA pouvaient être transposés au Homing. Les citer tous serait difficile, mais on peut

quand même nommer Didier / F6EAJ, Claude / F4UGF, Robert / FIGHO, et d'autres OMs des ADRASEC 69 et 38. Et à force d'améliorations et de compléments, nous sommes arrivés à un montage qui marche très bien en Homing, et qui va probablement être reproduit en petite série prochainement.

En plus ce montage permet de concrétiser une vieille idée : faire du Homing sur n'importe quelle fréquence. En effet pour le moment le système Homing est un système figé, où la fonction Homing est intégrée au récepteur. Il y avait bien eu il y a quelques années des développements avec Didier / F6EAJ, où nous avions fait un Homing qui fonctionnait avec un récepteur séparé, basé sur un XR2211, mais qui nécessitait de sortir le signal juste à la sortie du démodulateur avant filtrage, à l'intérieur du récepteur (sce : « Happy Flyers »). C'est un montage pour expérimentateurs avertis car il faut modifier le récepteur. Le nouveau montage fonctionne sans modification du récepteur ; l'information est extraite de la BF. Avec le boîtier Homing et un récepteur AM, vous vous calez où vous voulez, à condition bien évidemment de tailler l'antenne correctement (mais les antennes sont relativement large bande, presque de l'ordre d'une octave). Il est maintenant possible de faire assez facilement du Homing sur n'importe quelle fréquence...

Et pourquoi ça n'a pas été fait plus tôt ?

Pour faire fonctionner un TDOA, les antennes sont commutées à une fréquence autour de 1 kHz, et le fonctionnement se fait par écoute de la tonalité. Cette fréquence de 1 kHz est démodulée en FM par le récepteur puis est envoyée par la sortie BF.

Dans un Homing, les antennes sont commutées à fréquence nettement plus basse. Dans les systèmes classiques, on commute les antennes autour de 200 Hz et la modulation AM induite est filtrée par le récepteur qui ne laisse passer que la bande 300Hz - 3000 Hz en général. C'est pour cela qu'il faut récupérer la modulation directement à la sortie du démodulateur, avant filtrage. En faisant des essais, F6EAJ, Didier, s'est aperçu qu'en commutant les antennes à fréquence légèrement plus élevée, on arrivait à récupérer le signal modulé en AM dans la sortie BF. On pouvait maintenant faire du Homing avec un récepteur séparé. Ces explications permettent aussi de comprendre qu'il va falloir vérifier que le récepteur AM utilisé est bien compatible avec le fonctionnement du boîtier Homing ; un ajustement éventuel de fréquence de commutation est à prévoir en cas de difficulté. Pour notre part nous utilisons comme récepteur des ICOM IC-Q7, qui sont à la fois compacts et très performants.

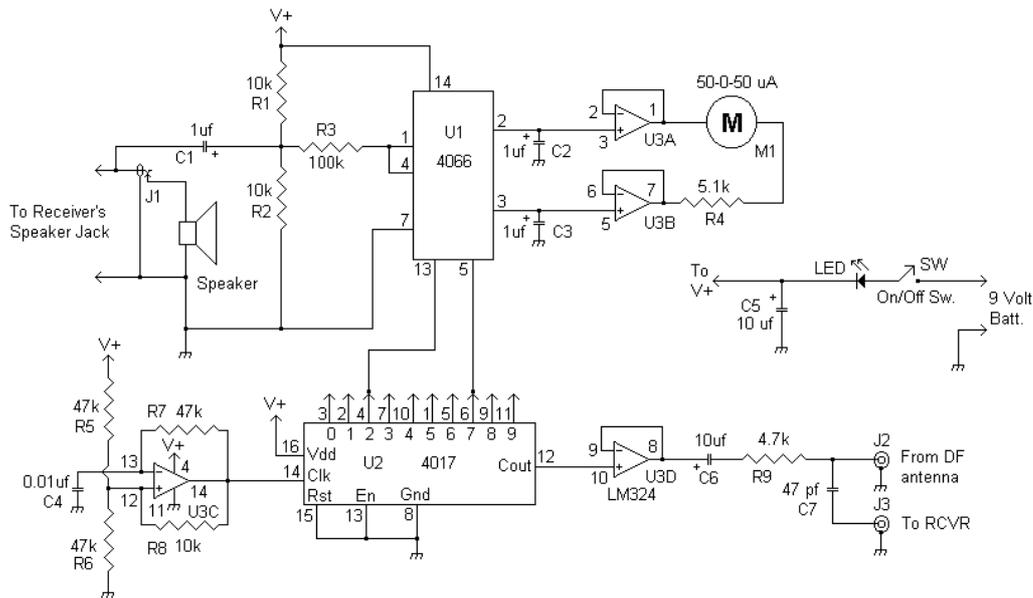
Et est-ce que ça présente toujours de l'intérêt à l'époque des balises 406 ?

Les balises 406 sont toujours équipées d'un émetteur 121,5 MHz pour la radiogoniométrie. Il y aura donc toujours besoin de faire de la radiogoniométrie sur cette fréquence, et le système Homing reste un excellent système de radiogoniométrie pour trouver les balises.

1.- Le développement des systèmes TDOA

Dans les années 90, plusieurs radioamateurs américains ont travaillé sur ces systèmes TDOA. On peut citer par exemple Joe Leggio, WB2HOL ou bien Mike Mladejovsky, WA7ARK [2]. Beaucoup de ces travaux sont cités dans l'excellent site américain consacré à la radiogoniométrie : homingin [3].

Le montage présenté sur la figure 1 est relativement simple, mais très efficace. Le signal d'un oscillateur à 10 kHz réalisé avec un amplificateur opérationnel LM324 est envoyé dans un 4017. Ce 4017 est un compteur diviseur par dix. La sortie de ce compteur est amplifiée par un ampli opérationnel qui commande les diodes PIN de l'antenne par des signaux carrés. Deux sorties de ce 4017 sont utilisées pour piloter les portes d'un 4066. Le signal du récepteur est haché au travers de ce 4066, dont les sorties commandent un afficheur « Gauche-Droite ». Avant ce traitement, un haut-parleur permet d'entendre correctement la modulation reçue.

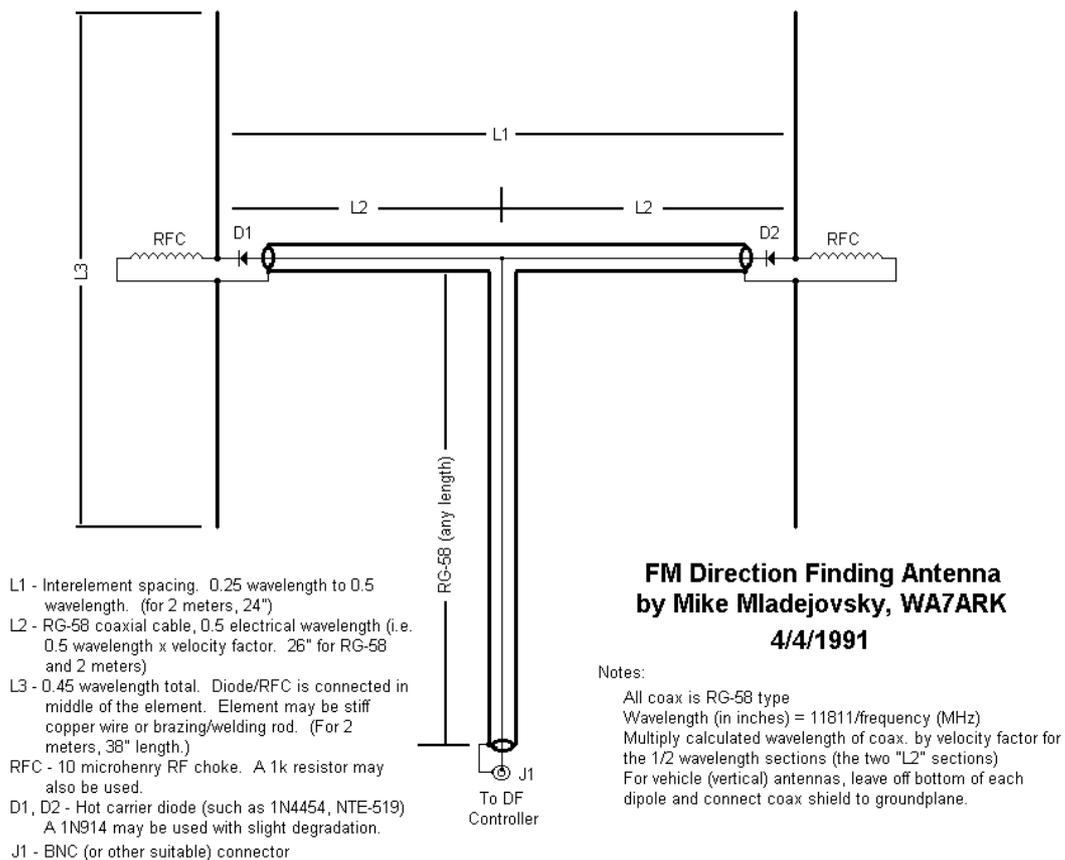


- Speaker - Any suitable speaker
- J1 - Jack for earphone connection (optional)
- J2, J3 - BNC connectors (or RF connectors of your choice)
- LED - Light Emitting Diode (any color)
- SW - SPST Switch
- U1 - 4066 Quad analog switch (NTE-4066B)
- U2 - 4017 Decade Counter (NTE-4017B)
- U3 - LM324 Quad Op Amp (NTE-987)
- M1 - 50-0-50 microamp zero-centering meter

**Switched Capacitor Matched Filter
FM DF Circuit
by Mike Mladejovsky, WA7ARK
4/4/1991**

- Note:
- Adjust C4 and/or R7 for oscillator frequency of approx. 10 KHz
 - Adjust R4 to match the meter's sensitivity

Figure 1 : Schéma du TDOA de WA7ARK



**FM Direction Finding Antenna
by Mike Mladejovsky, WA7ARK
4/4/1991**

- Notes:
- All coax is RG-58 type
 - Wavelength (in inches) = 11811/frequency (MHz)
 - Multiply calculated wavelength of coax. by velocity factor for the 1/2 wavelength sections (the two "L2" sections)
 - For vehicle (vertical) antennas, leave off bottom of each dipole and connect coax shield to groundplane.

- L1 - Interelement spacing. 0.25 wavelength to 0.5 wavelength. (for 2 meters, 24")
- L2 - RG-58 coaxial cable, 0.5 electrical wavelength (i.e. 0.5 wavelength x velocity factor. 26" for RG-58 and 2 meters)
- L3 - 0.45 wavelength total. Diode/RFC is connected in middle of the element. Element may be stiff copper wire or brazing/welding rod. (For 2 meters, 38" length.)
- RFC - 10 microhenry RF choke. A 1k resistor may also be used.
- D1, D2 - Hot carrier diode (such as 1N4454, NTE-519) A 1N914 may be used with slight degradation.
- J1 - BNC (or other suitable) connector

Figure2 : Antenne du TDOA

Ce montage fonctionne très bien. De nombreux essais ont été faits pour utiliser directement la sortie de l'oscillateur, ou pour remplacer le 4017 par des bascules. En pratique l'association de l'oscillateur comme base de temps avec le 4017 en diviseur permet d'obtenir un montage relativement simple et qui sort des créneaux très propres. Dans le 4066, chaque porte ne conduit que pendant 10 % du temps.

À l'utilisation, on entend très clairement la note générée par l'oscillateur. Quand l'antenne fait face à l'émetteur, on constate la disparition de la note. C'est le fonctionnement classique d'un TDOA. Les systèmes simples, souvent réalisés avec des NE555, n'ont que cette fonction. Le montage de WA7ARK ajoute en plus un indicateur Gauche-Droite qui fonctionne bien. Cet indicateur Gauche-Droite permet de faire lever de doute est d'aller droit sur le signal, alors que les systèmes plus simples ne donnent qu'une direction. Attention cependant à bien tester son matériel avant de partir, car la direction de l'indicateur Gauche Droite peut être inversée en changeant de récepteur.

L'antenne du TDOA est présentée sur la figure 2 [2]. La partie horizontale du mât porte à ses extrémités deux dipôles verticaux, espacés d'environ $\lambda/4$. Chaque antenne est commutée à sa base par une diode. Les signaux générés par le boîtier de commandes activent alternativement la réception sur chacun des deux brins. Quand les deux brins sont à égale distance de l'émetteur, ils reçoivent le même signal et l'aiguille du « GD-mètre » reste centrée. Quand on tourne légèrement l'antenne, la différence de phase des signaux reçus génère une modulation dans la BF, et provoque le déplacement de l'aiguille du S. mètre.

Les éléments présentés dans cet article, disponibles sur des sites internet [2,3], permettent de construire complètement ce système TDOA. Le montage fonctionne très bien sur les porteuses pures et les porteuses modulées (Photo 1 et 2). Il est parfaitement adapté pour la radiogoniométrie FM.

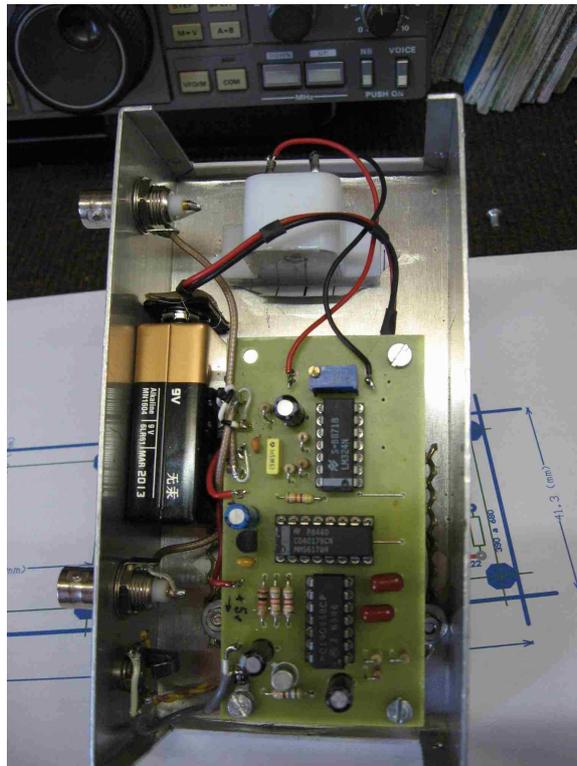


Photo 1 : Un exemple de réalisation. On reconnaît les 3 circuits intégrés sur la platine : le LM 324, le 4017 et le 4066 (Construction Didier / F6EAJ).



Photo 2 : Un autre exemple de montage du TDOA de WA7ARK associé à un ICOM IC-Q7, et test en Homing sur 121,5 MHz

2-. Comment transformer un TDOA en Homing

Le boîtier d'un Homing comporte beaucoup d'éléments similaires à ceux d'un TDOA :
-- le pilotage des diodes PIN de l'antenne est effectué par des signaux rectangulaires de rapport cyclique 50%,
-- la détection doit faire la corrélation entre les créneaux de pilotage des antennes et les variations induites sur les signaux reçus.

Tel quel, le montage de WA7ARK fonctionne en Homing avec une antenne Homing et un récepteur AM. Mais comme par exemple les variations d'amplitude à mesurer en Homing sont plus faibles que les variations de fréquence, plusieurs adaptations sont à faire dans le montage pour optimiser le fonctionnement.

Actuellement des prototypes circulent entre quelques OM de la région Rhône Alpes, et le montage est en phase d'améliorations successives. Le système reste toujours construit autour des 3 circuits intégrés : 4017, 4066 et LM324, mais les composants périphériques sont un peu plus nombreux que dans le montage initial. Le montage final sera présenté dans un prochain article.

Références

- [1] <http://www.ltronics.com/>
- [3] <http://www.homingin.com/>
- [2] http://utaharc.org/rptr/ark_df_desc.html