

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

A. SEGUI* , R. PHILIPPART**

* UNIVERSITE DE RENNES, Laboratoire de Traitement du Signal 35031 - RENNES CEDEX

** Groupe d'Etudes Sous-Marines de l'Atlantique D.C.A.N. 29000 - BREST

RESUME

Après avoir brièvement rappelé le principe du système de transmission adapté à l'existence de trajets multiples, nous présentons les résultats d'une expérimentation faite dans un bassin de carénage. Les conditions du milieu de propagation nous ont permis de tester le système à 685 bauds puis à 1024 bauds.

SUMMARY

After a brief paper about the principle of an under water multipath communication system. We present the results of an experiment in a graving dock. The underwater multipath conditions permit a 685 bauds and a 1024 bauds communication.



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

I - INTRODUCTION

Lorsqu'on veut par petit fond établir une liaison ultra-sonore entre deux points, on se heurte à l'existence d'un grand nombre de trajets résultant des réflexions multiples des ondes sur le fond et la surface de la mer. Dans ces conditions le récepteur reçoit :

- une onde directe qui ne subit, en principe, aucune réflexion, et dont le chemin est le plus court. Nous l'affecterons de l'indice 0.

- une succession d'échos parasites, affectés de retards τ_i croissant avec le nombre de réflexions subies. Ils seront numérotés, à partir de 1, dans l'ordre des chemins parcourus croissants. Cet allongement des trajets, ainsi que les réflexions, produisent une atténuation des ondes telle qu'au delà d'un certain retard τ_{Max} , ces échos parasites sont de niveau négligeable et une simple discrimination en puissance est possible. C'est ce phénomène d'échos multiples qui limite le débit des systèmes classiques.

Dans cet article nous présentons l'expérimentation d'un dispositif permettant de lutter contre un tel phénomène et d'obtenir une cadence de transmission supérieure à $\frac{1}{\tau_{Max}}$. Son principe est basé sur une modulation particulière de la porteuse.

II - PRINCIPE ET CONSTITUTION DU SYSTEME DE TRANSMISSION [1]

2-1- Rappel du principe de fonctionnement

On utilise comme porteuse un signal modulé linéairement en fréquence et ayant les caractéristiques suivantes :

Fréquence minimale ν_0

Fréquence maximale $\nu_0 + \Delta\nu$

Période de modulation T (tel que $T > \tau_{Max}$)

Pente de la modulation $2k = \frac{\Delta\nu}{T}$

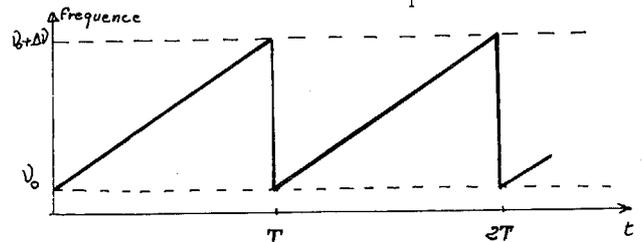


FIGURE 1

A la réception on réalise le battement des signaux captés avec une référence locale de mêmes caractéristiques $\Delta\nu$ et T et de fréquence de départ ν_R .

La récurrence de cette référence est synchronisée sur celle de l'onde directe par un dispositif adéquat. On filtre les battements résultants dans un filtre de largeur $d\nu$ centré sur la fréquence $\nu_R - \nu_0$.

Si la synchronisation est correcte le trajet direct donne lieu au battement $(\nu_R - \nu_0)$ alors que chacun des trajets parasites crée une fréquence différente $(\nu_R - \nu_0 + 2k\tau_i)$ qui est éliminée par le filtre $d\nu$, conformément au schéma ci-dessous :

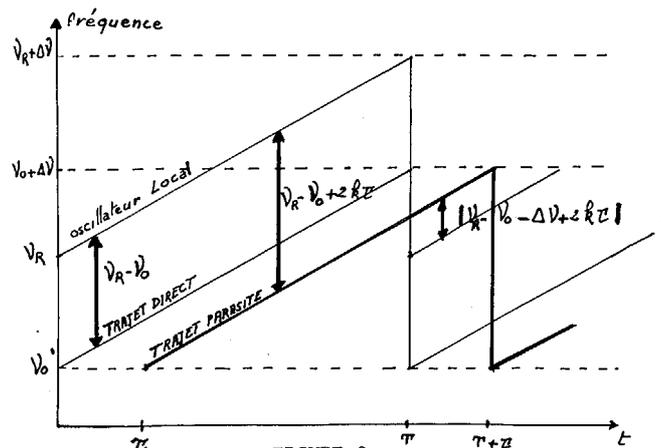


FIGURE 2



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

Remarque : En fait on voit que le trajet parasite donne lieu au battement $(v_R - v_o + 2k\tau_i)$ et à un battement image

$$|v_o - v_R + \Delta v - 2k\tau_i|$$

Ce battement image risque de devenir gênant s'il existe un retard τ tel que :

$$|v_R - v_o - \Delta v + 2k\tau| = v_R - v_o$$

Pour éviter cela, il faut imposer la condition :

$$v_R > v_o + \frac{\Delta v}{2}$$

2-2- Ensemble d'émission

Sa constitution est schématisée par la figure 3.

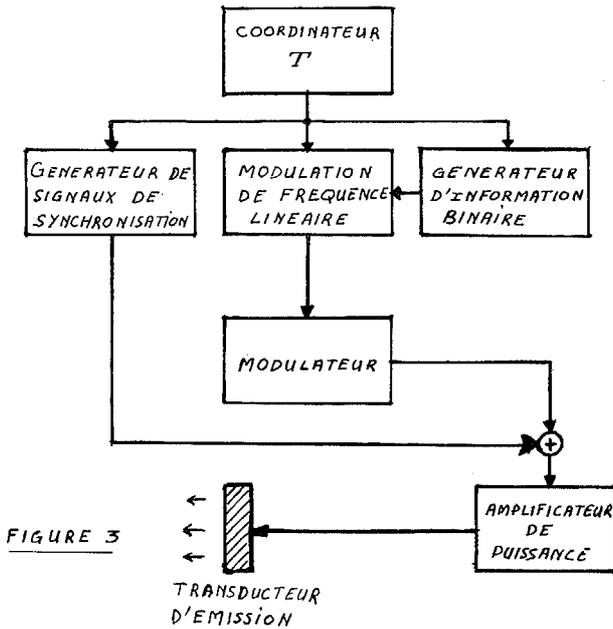


FIGURE 3

- Il forme la porteuse modulée linéairement en fréquence.
- Pour transmettre les informations digitales on découpe cette porteuse en modulation tout ou rien. Dans le cas d'un codage binaire avec retour à zéro on démontre la relation suivante liant la cadence de transmission n aux paramètres du système :

$$2n < \Delta v < 2 \frac{\Delta v}{T} \tau_{\min}$$

où τ_{\min} désigne le retard minimal du premier trajet parasite.

- Par ailleurs avec chaque début de rampe $(\Delta v, T)$ on injecte un signal codé destiné à la synchronisation du récepteur, ce qui en fait implique un léger temps mort dans la transmission.

2-3- Ensemble de réception

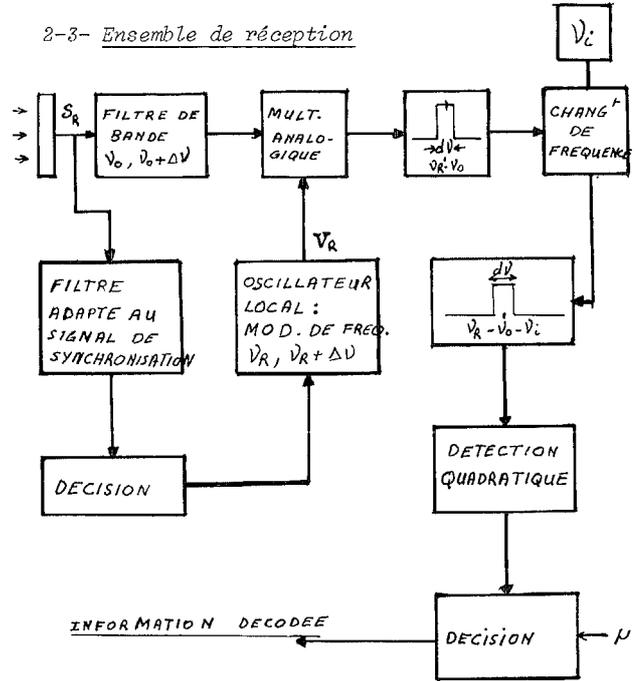


FIGURE 4

Il comporte deux parties distinctes.

- une voie destinée à la détection du code de synchronisation du signal local V_R (de caractéristique $v_R T, \Delta v, k$) ainsi qu'à la décision de l'instant de synchronisation.
- une voie d'extraction ou de traitement de l'information qui réalise la multiplication des signaux reçus S_R et du signal local V_R , le filtrage autour de $v_R - v_o$, et la détection des bits d'information. On a ajouté à cet ensemble un changement de fréquence translatant $v_R - v_o$ vers $(v_R - v_o - v_i)$ ainsi qu'un filtrage de bande centré sur la fréquence $v_R - v_o - v_i$ dans le but de faciliter le filtrage du signal utile en augmentant le rapport entre le décalage $(2k\tau_i)$ et la fréquence utile $(v_R - v_o - v_i)$.

2-4- Code de synchronisation

Dans un premier temps, pour l'expérience présentée, on s'est contenté d'une technique rudimentaire qui a cependant donné des résultats satisfaisants. Le code de synchronisation consiste en l'émission toutes les T secondes d'un train d'onde à la fréquence $[v_o + \Delta v]$. Dans le récepteur le circuit de détection de l'impulsion de synchronisation comporte un filtrage de bande étroit et un test de durée de présence de l'impulsion. La sûreté du système est augmentée par un test de périodicité.



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

III - EXPERIMENTATION EN BASSIN

L'ensemble du système (synchronisation et transmission) a été testé à échelle réduite en bassin. On a en particulier testé les performances limites dans les conditions expérimentales du bassin.

3-1- Conditions expérimentales

Les dimensions du bassin sont :

longueur = 80 mètres

largeur = 13 mètres

hauteur d'eau moyenne = 8 mètres

Le bassin étant en communication avec la mer, on a pu suivre l'influence des variations de hauteur d'eau liées à la marée.

Les transducteurs d'émission et de réception sont placés à environ 4 mètres du fond et distants de 70 mètres.

Nous avons figuré sur le schéma ci-dessous quelques trajets sonores dans ce milieu de propagation.

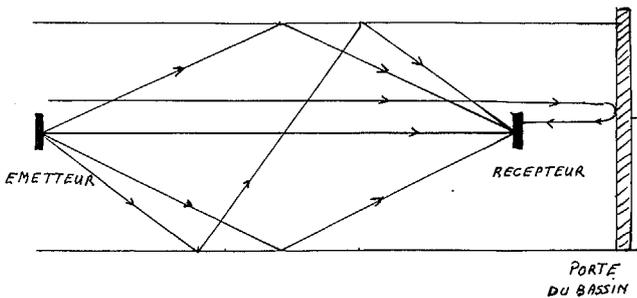


FIGURE 5 : REPRESENTATION DES DIFFERENTS TRAJETS

Les figures 6 & 7 correspondent à l'émission du signal de synchronisation seul. Elles montrent les réponses successives résultant des différentes réflexions dans le bassin. Ces clichés sont relatifs à deux hauteurs d'eau différentes.

On voit que le retard τ_{\min} est de l'ordre de 500 μ s et que τ_{\max} est inférieur à 5ms. En conséquence on a choisi les valeurs suivantes pour les paramètres du système :

$$\Delta\nu = 30 \text{ KHz}$$

$$\nu_0 = 85 \text{ KHz}$$

$$\nu_0 + \Delta\nu = 115 \text{ KHz}$$

$$T = 5,6 \text{ ms}$$

Dans ces conditions la cadence maximale d'information possible est donc :

$$n \leq \frac{\Delta\nu}{2T} \tau_{\min}$$

$$n \leq \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot 5,6 \cdot 10^{-3}} 500 \cdot 10^{-6} = 1300 \text{ bits/seconde}$$

Remarque : Le choix T est imposé par τ_{\max} et pour T et $\Delta\nu$ fixés la limite de n est conditionnée par τ_{\min} .

On peut donc dire que pour un environnement donné et pour $\Delta\nu$ fixé il existe un choix optimal du paramètre T qui donne n maximum. Il est bien évident que dans l'exemple d'une transmission sur 2000 mètres avec une hauteur d'eau de 30m on atteindrait un n maximal plus faible que ci-dessus : avec par exemple $\tau_{\min} = 3,3$ ms et T = 100ms on aurait n = 500.

3-2- Mode d'évaluation du taux d'erreur

Pour évaluer ce taux d'erreur, on compare l'information détectée par le récepteur à une copie retardée de l'information émise. En fait, ce mode d'évaluation de performances a posé un certain nombre de problèmes en particulier la gigue des digits reçus affecte la mesure du taux d'erreur.

3-3- Performances

3-3-1- Dispositif de synchronisation

Nous montrons, à titre d'exemple, sur la figure 8 la sortie de la voie de détection du signal de synchronisation. Bien que rudimentaire, l'ensemble a donné satisfaction dans les conditions de l'expérience.

3-3-2- Tests à 685 bits par seconde

Les figures 9 à 13 illustrent les résultats obtenus pour une cadence de transmission de 685 bits par seconde. Les digits sont envoyés par groupe de 4 entre deux signaux de synchronisation ; Les 5 figures sont relatives à 5 mots différents de 4 bits.

La trace supérieure des clichés montre l'ensemble des signaux reçus par le récepteur et on voit nettement les interférences produites par la superposition des signaux portés par les différents trajets.

La trace inférieure montre le code détecté par le récepteur. De plus, pour la figure 13, nous avons simulé



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

des conditions de transmission plus défavorables par injection à l'émission d'un bruit supplémentaire.

On peut noter la forme particulière des traces inférieures caractérisant la gigue des signaux détectés qui nous a gêné pendant l'évaluation du taux d'erreur. Précisons toutefois qu'il n'y a pas recouvrement de deux digits successifs et que l'information détectée reste exploitable.

3-3-3- Tests à 1000 bits par seconde

Les conditions de propagation restent identiques. Nous avons porté la cadence de transmission à 1024 digits par seconde émis par groupe de 6 sur chaque récurrence T.

Les 4 clichés suivants (figures 14 à 17) montrent le signal reçu, le signal de synchronisation détecté par le récepteur et l'information détectée pour 4 configurations des digits transmis.

3-3-4- Résultats

Le tableau ci-dessous résume les performances mesurées au cours de cette expérimentation en bassin pour une cadence maximale possible de 1300 bits/seconde.

: Cadence : de trans- : mission	: Code	: Figure N°	: taux d'erreur : mesuré
: 685	: 1101	: 14	: $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-3}$
: 685	: 1111	: 15	: $\lambda = 6,2 \cdot 10^{-3}$
: 685	: 1110	: 16	: $\lambda = 7 \cdot 10^{-3}$
: 685	: 1100	: 17	: $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-3}$
: 685	: 1010	: 18	: $\lambda = 2 \cdot 10^{-3}$
: 1024	: 010100	: 19	: $\lambda = 2 \cdot 10^{-3}$
: 1024	: 110010	: 20	: $\lambda = 15 \cdot 10^{-3}$
: 1024	: 111110	: 21	: $\lambda = 9 \cdot 10^{-3}$
: 1024	: 111111	: 22	: $\lambda = 23 \cdot 10^{-3}$

On peut noter que le taux d'erreur mesuré est plus élevé que celui constaté au cours de la simulation.

On peut attribuer à cette dégradation un certain nombre de raisons :

- la quantité de signaux parasites est plus importante
- la simplicité du système de synchronisation
- les problèmes que nous a posés le dispositif de comparaison de l'information.

IV - CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette expérimentation sont très encourageants si l'on tient compte du fait que la maquette ayant servi à ces essais est rudimentaire.

Elle présente certaines insuffisances indépendantes du principe même du système. On peut espérer des performances supérieures avec un matériel plus soigné. Dans cette optique, nous réalisons actuellement une version plus élaborée de l'appareil qui sera testé en mer et sur une plus grande distance.

Il convient ici de souligner la relative simplicité ainsi que la souplesse du système devant les performances que l'on peut en attendre.

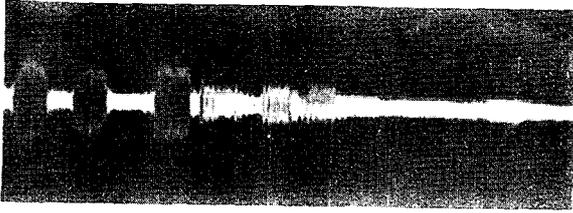


FIGURE 6

x = 500 μ s / div
 y = 0,5 V / div

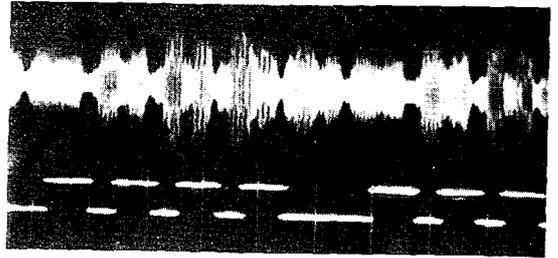


FIGURE 10

x = 1 ms / div
 y = 0,5 V / div
 N = 685
 $\lambda = 6,2 \cdot 10^{-3}$

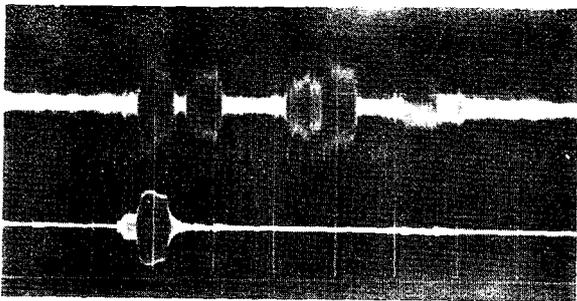


FIGURE 7

x = 500 μ s / div
 y = 0,5 V / div

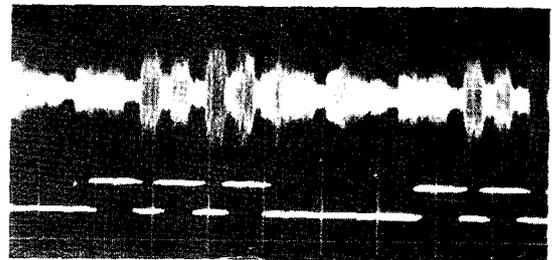


FIGURE 11

x = 1 ms / div
 y = 0,5 V / div
 N = 685
 $\lambda = 7 \cdot 10^{-3}$

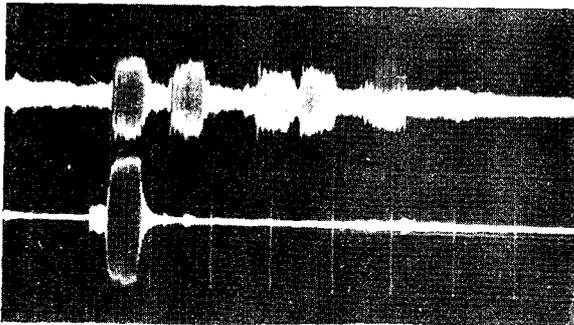


FIGURE 8

x = 500 μ s / div
 y = 0,5 V / div

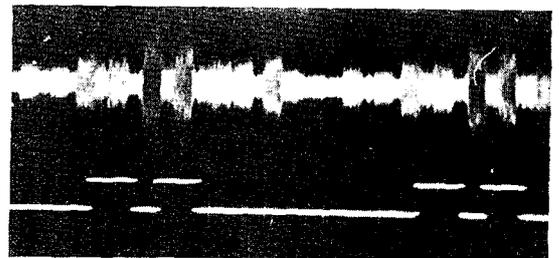


FIGURE 12

x = 1 ms / div
 y = 0,5 V / div
 N = 685
 $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-3}$

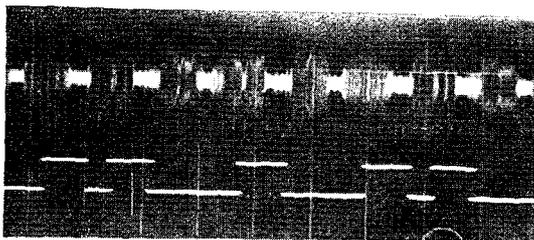


FIGURE 9

x = 1 ms / div
 y = 0,5 V / div
 N = 685
 $\mu = 5,2 \cdot 10^{-3}$

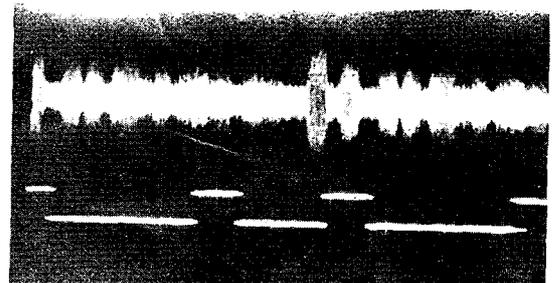


FIGURE 13

x = 1 ms / div
 y = 0,5 V / div
 N = 685
 $\lambda = 2 \cdot 10^{-3}$



EVALUATION EXPERIMENTALE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION
ADAPTE A L'EXISTENCE DE TRAJETS MULTIPLES

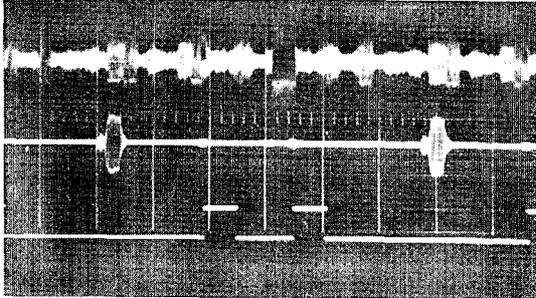


FIGURE 14

$x = 1 \text{ ms / div}$
 $y = 2 \text{ V / div}$
 $N = 1024$
 $\lambda = 2 \cdot 10^{-3}$

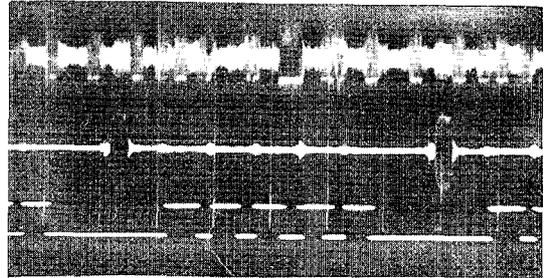


FIGURE 16

$x = 1 \text{ ms / div}$
 $y = 2 \text{ V / div}$
 $N = 1024$
 $\lambda = 19 \cdot 10^{-3}$

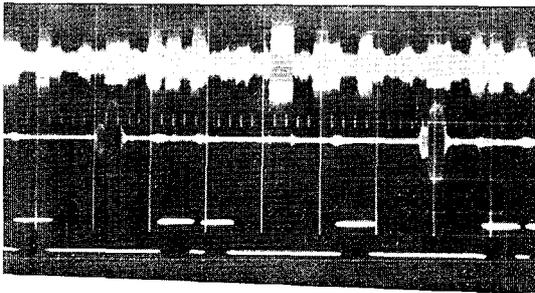


FIGURE 15

$x = 1 \text{ ms / div}$
 $y = 2 \text{ V / div}$
 $N = 1024$
 $\lambda = 15 \cdot 10^{-3}$

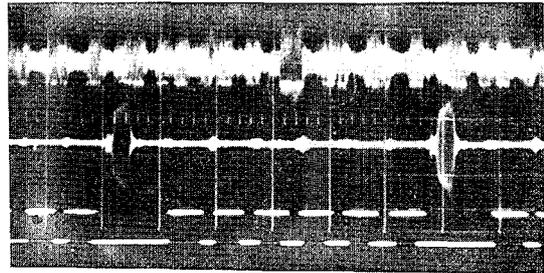


FIGURE 17

$x = 1 \text{ ms / div}$
 $y = 2 \text{ V / div}$
 $N = 1024$
 $\lambda = 23 \cdot 10^{-3}$