

l'onde électrique

U. of ILL. LIBRARY

JUL 5 1972

CHICAGO CIRCLE

revue mensuelle
de la
société des électriciens
des électroniciens
et des radioélectriciens



Unique! cette "manip" FERISOL...

...le nouveau vobulateur **GH 400** est caractérisé par une possibilité inédite : la **fréquence des marqueurs M_0 , M_1 , M_2** , réglable de façon continue est saisie "au vol" pendant la vobulation et lue instantanément sur un Minifréquencemètre type HB avec une grande précision (1.10^{-6} ou 5.10^{-8})

Simultanément, le signal "marqueur" mesuré est identifié par surbrillance, sur la courbe tracée par l'Indicateur Cathodique OZ 300 associé.

MESURE DES MARQUEURS M_0 , M_1 , M_2

-10 dB

-20 dB

-30 dB

-40 dB

M_1

M_0

M_2

REGLAGE RAPIDE ET "A VUE" DE DISPOSITIFS A SELECTIVITE ELEVEE : CIRCUITS REJECTEURS, FILTRES A QUARTZ, etc...

MINIFREQUENCEMETRE HB 250 - 0 à 500 MHz

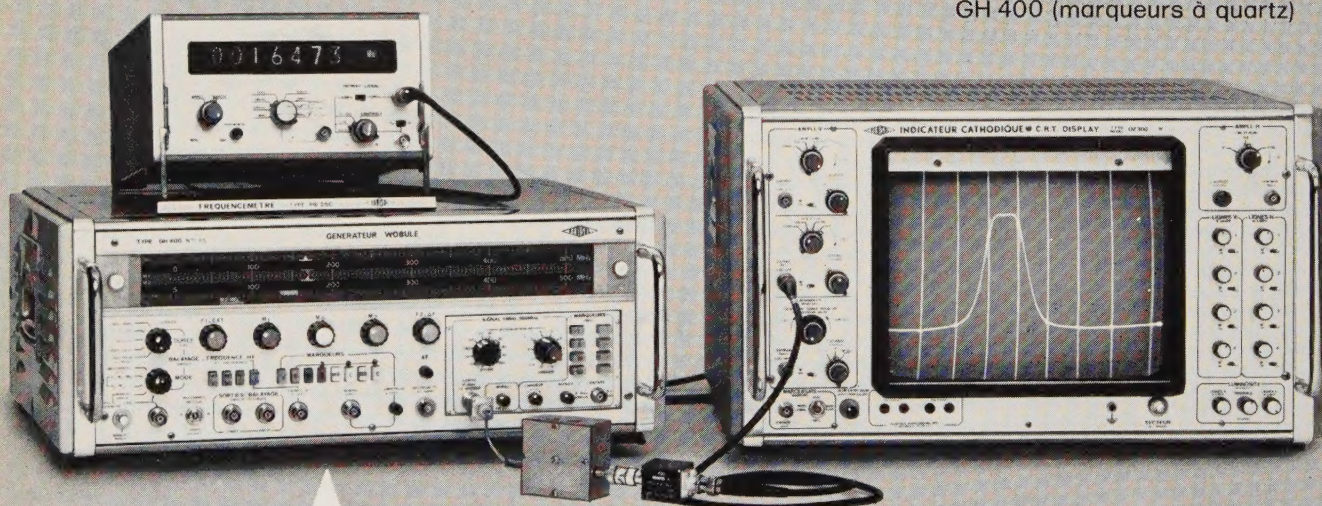
Entrées : "=" de 0 à 50 MHz ; sensibilité : 50 mV - "~" de 10 MHz à 500 MHz ; sensibilité 50 mV - Pilote à quartz : 5 MHz ; stabilité : 1.10^{-6} /mois (option 5.10^{-8} /mois.) - Affichage : 7 chiffres - Durée de mesure : 1 μ s à 10 s.

Nota : n'importe quel fréquencemètre HB peut être utilisé pour la mesure des marqueurs

INDICATEUR CATHODIQUE OZ 300

Observation de 1 à 3 signaux simultanés (axe des Y) pour une même référence "temps" (axe des X). Entrées "V" : 2 linéaires (0,3 mV à 3 V/cm de 0 à 100 kHz) ; 1 logarithmique (3 V max. ; dynamique > 70 dB). Entrée "H" : linéaire (30 mV à 30V c à c./cm de 0 à 1kHz). Quadrillage électronique : 4 marqueurs verticaux, 4 marqueurs horizontaux, indépendants - réglage de la luminosité "V" et "H" indépendante.

Essais d'un filtre avec affichage sur OZ 300 d'un "peigne" de fréquences issu du GH 400 (marqueurs à quartz)



GENERATEUR VOBULATEUR GH 400 - 30 Hz à 4 GHz

A état solide - 30 Hz à 4 GHz en 6 tiroirs oscillateurs enfichables - Niveau de sortie élevé et réglé : 180 mW (30 Hz) à 20 mW (4 GHz) - Balayage nul, manuel, automatique - 3 marqueurs réglables M_0 , M_1 , M_2 (dispositif inédit permettant la mesure avec fréquencemètre HB, en cours de vobulation, de M_0 , M_1 , M_2) - 8 marqueurs à quartz (4 prédéterminés + 4 à la demande) - Asservissement de F. par synchroniseur extérieur.

Etablissements GEFROY & C^{IE}
Société Anonyme au Capital de 13 153 000 F.



18, Avenue P. V. Couturier - 78 - TRAPPES
Tél. 462-88-88 - Telex : 25.705 - Câble : FERITRAPPES
Délégations Régionales : LYON - RENNES - TOULOUSE
Bureaux Techniques : MILAN - FRANCEFORT

l'onde électrique

revue mensuelle

de la Division Electronique, Radioélectricité et Télécommunications (D.E.R.T.)
de la Société des électriciens, des électroniciens et des radioélectriciens (S.E.E.)

sommaire

FERTIN J. L'optoélectronique des semiconducteurs	205	SYNTHÈSE
MARCOUX G.M. Premiers pas vers la reconnaissance des formes acoustiques	210	RECONNAISSANCE DES FORMES
PUYHAUBERT J. Visualisation des ondes électromagnétiques hyperfréquence à l'aide des cristaux liquides	213	APPLICATION DE L'OPTOÉLECTRONIQUE
LEBAILLY J., GONIN C. Photocoupleurs à semiconducteurs	218	OPTOÉLECTRONIQUE
POINSOT A., JOLY J.C. Fréquences propres d'une cavité hyperfréquence cylindrique contenant un échantillon diélectrique cylindrique coaxial	223	HYPERFRÉQUENCE
FRIANT A. Spectrométrie de rayonnements X de faible énergie par semiconducteurs	228	SPECTROMÉTRIE X
MOTRO M. Considérations sur la transmission par porteuse infrarouge	235	CORRESPONDANCE
Journées d'Électronique de Saclay	238	ACTUALITÉ
Informations	239	INFORMATIONS

sur notre couverture,

une console de visualisation type « D » de Schneider Electronique.

Un terminal de visualisation autonome destiné à l'affichage d'informations alphanumériques provenant d'une frappe sur son propre clavier ou de toutes autres sources extérieures (ordinateur, minicassette, télétype...).

voir page III,

SCHNEIDER ÉLECTRONIQUE, 12, rue Louis-Bertrand - 94-Ivry. Tél. 672.73.60.

TELETEL. Commercialisation métropole, 80, rue d'Arcueil - 94-Gentilly. Tél. 588.33.13.

L'ONDE ÉLECTRIQUE, 10, avenue Pierre-Larousse, 92-Malakoff - Tél. 253-04-16

Président du Comité de l'Onde Électrique : M. THUÉ, Ingénieur général des Télécommunications au C.N.E.T.

Vice-Présidents : P. CHAVANCE, Directeur technique à Thomson-C.S.F.

L. GOUSSOT, Ingénieur général des Télécommunications à l'O.R.T.F.

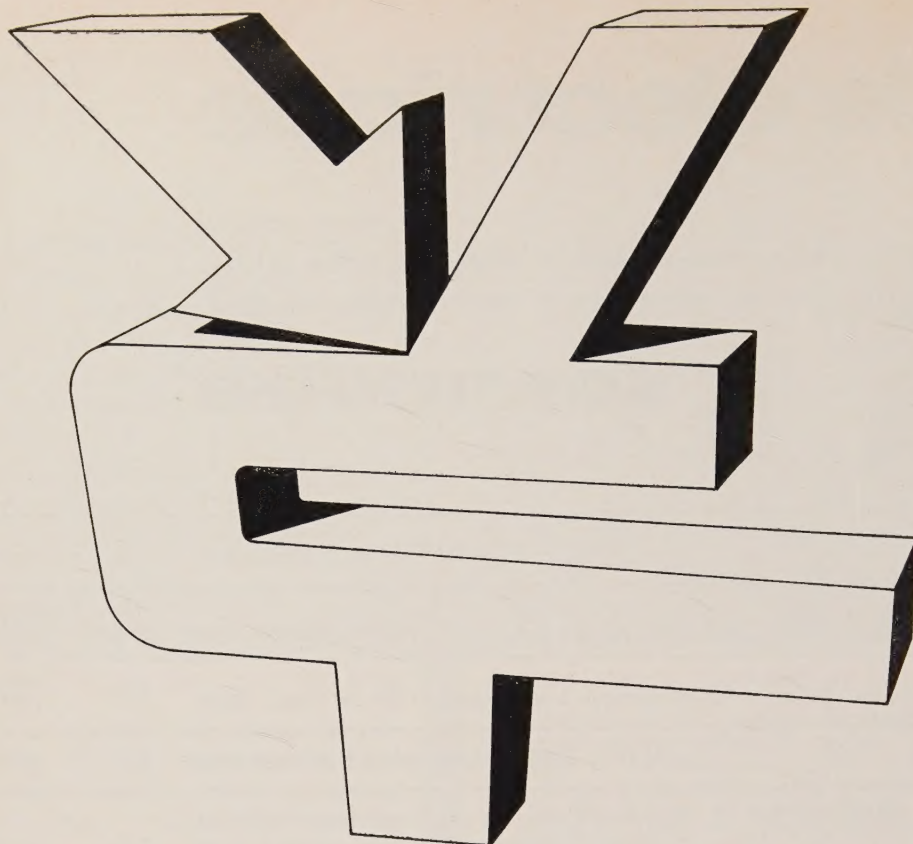
Président du Comité de Lecture : G. LEFRANÇOIS, Directeur des Etudes à l'E.N.S.T.

Rédacteur en chef : D. HALPERN

Editions Chiron S.A., 40, rue de Seine, 75-Paris 6^e - Tél. 633.18.93

Abonnement (1 an, soit 11 numéros), chez l'éditeur : France 100 F - Etranger 140 F - C.C.P Paris 53-35

Exclusivité de la publicité : M.R.G. Domenach. Tél. 222-41-97 et 98



semiconducteurs

transistors et diodes de signal silicium et germanium
transistors à effet de champ et transistors M.O.S.

transistor de puissance au silicium

diodes Zener - redresseurs et montages - thyristors

microélectronique

circuits intégrés logiques bipolaires et M.O.S.

circuits intégrés linéaires - éléments hyperfréquences

Région parisienne

■ Sescosem
Service commercial
101, Bd Murat - 75 Paris 16e
Tél. 525.75.75 - Télex 28 060

■ Orega Cité
50, rue J. P. Timbaud
92 Courbevoie
Tél. 333.37.50 Télex 25 731

■ Les Composants Electroniques
160, route de la Reine - 92 Boulogne
Tél. 604.10.20 Télex 27 191

■ Codirel
105, rue Sadi-Carnot - 93 Bagnolet
Tél. 287.45.99

Distributeurs régionaux

Nord

■ Side
71, rue Pierre Legrand - 59 Lille
Tél. : (20) 53.11.75

Ouest

■ Electrotechnique de Normandie
8, rue de la Croix-d'Yonville -
76 Rouen
Tél. (35) 70.05.75 Télex 78 065

■ Bellion
47, rue Frédéric Chopin - 44 Couron
Tél. : (40) 72.60.79 - Télex 70 274

■ Bellion & Cie
40, quai de l'Ouest - 29N Brest
Tél. (98) 80.38.00 Télex 74 513

Est

■ Selfco
31, rue du Fossé des Treize -
67 Strasbourg
Tél. (88) 32.59.33

■ Cepma (Total Télévision)
11, rue du Polygone - 25 Besançon
Tél. (81) 83.66.79 - 83.66.70

Centre

■ Centre Electronique Diffusion
rue Bernard Brunhes -
63 Clermont Ferrand
Tél. (73) 92.14.77 - Télex 39 926

■ S.E.D.R.E.
8, place Préher - 42 - St Etienne
Tél. (77) 33.12.34 - Télex 33 666

Rhône-Alpes

■ Radialex
74, rue de Vendôme - 69 Lyon
Tél. (78) 24.51.78 - 24.12.35
Télex 30 238

■ Radialex
3, rue Moyrand - 38 Grenoble
Tél. (76) 87.35.97

Sud Est

■ Sescosem
Service commercial
38 Saint Egrève
Tél. (76) 88.40.61 - Télex 25 731

■ Sescosem
Service commercial
15, rue Camille Pelletan -
13 Aix-en-Provence
Tél. (91) 27.61.16
Télex 41 665

Côte d'azur

■ Dimel Immeuble Marino
Av. Claude Farrère - 83 Toulon
Tél. : (94) 41.49.63

Provence

■ Cabus & Raulot
49, rue de Valfage - 13 Marseille 6e
Tél. (91) 47.58.10 Télex 43 387

Midi-Pyrénées

■ Sodimep
8, rue Jean-Suau - 31 Toulouse
Tél. (61) 22.40.12 - 22.41.88

Sud Ouest

■ Sté Sadige
11, Av. du Corps Franc Pommiers -
64 Pau
Tél. (59) 27.87.95

■ SODICO
82, cours Gambetta - 33 Lançon
Tél. : 180 et 436 - Télex 56 613

sesosem
Société Européenne de Semiconducteurs et de Microélectronique

Direction commerciale : 101, bd Murat - Paris 16e - Tél. 525.75.75

THOMSON-CSF

Le terminal de visualisation alphanumérique type «D» de SCHNEIDER ÉLECTRONIQUE

compatibilité totale : télétype et télévision

La console D est un terminal de visualisation autonome permettant l'affichage de textes soit sur son propre écran, soit sur des récepteurs de télévision du commerce utilisés en circuit fermé.

Les informations visualisées peuvent provenir d'une frappe effectuée sur le clavier de la console ou de sources extérieures (ordinateur, mini-cassette digitale, télétype, ligne télégraphique, etc.).

Il est possible également d'envoyer des informations à l'extérieur, — calculateur ou autres périphériques — soit à l'aide du clavier : c'est le fonctionnement caractère par caractère, soit en diffusant une partie ou totalité du texte inscrit sur l'écran : c'est le fonctionnement par blocs.

CARACTÉRISTIQUES

- Capacité totale : 512 ou 1 024 caractères en 8 ou 16 lignes de 32 ou 64 caractères.
- Définition d'un caractère : matrice de 10 points horizontaux, 7 points verticaux. — Répertoire : 64 caractères majuscules.
- Code : USASC II 7 bits + parité.
- Standard : 624 ou 625 lignes 50 Hz.
- Clavier : bloc de touches alphanumériques et bloc de fonctions séparées soit un total de 60 touches. Compatibilité totale avec clavier télétype type ASR 33.
- Puissance absorbée : 220 V, 50 Hz, 110 W.
- Dimensions : écran 32 cm, largeur 440, profondeur 500 (670 avec clavier), hauteur 380, poids 27 kg.
- Couleur standard : ivoire.

1) Sélection du type d'image

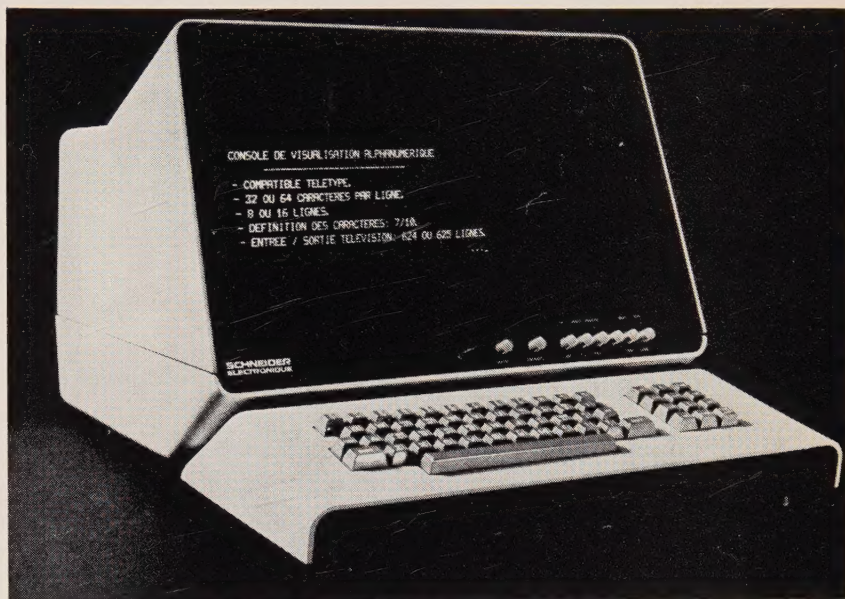
L'écran peut afficher soit des informations alphanumériques, soit des images de télévision (entrée vidéo).

2) Sélection du mode d'émission

L'envoi des données peut se faire caractère par caractère ou par blocs.

3) Présentation du texte

Il est possible de présenter le texte sur une seule page limitée aux dimensions de l'écran ou sur une page d'une longueur infinie : c'est le fonctionnement dénommé « Roll up » dans lequel le texte remonte d'une ligne au fur et à mesure du remplissage.



4) Sélection du mode de travail

Soit en local soit en ligne.

5) Blocage du clavier

Après affichage d'un texte qui ne doit pas être détruit, un blocage du clavier permet d'éviter toute surcharge, modification, ou effacement prématurés.

TOUCHES DE FONCTION

- 1) Index : déplacement bas, haut, gauche, droite, retour à la ligne et à la page.
- 2) Touche de répétition.
- 3) Avance rapide du curseur.
- 4) Effacement total de la page (touche protégée).
- 5) Touche d'envoi : ligne, page ou zone indexée.

INTERFACE

A. Données

1) Transmission série

10 ou 11 bits, parité pair ou impair.
Complètement interchangeable avec une télétype (20 mA de courant de boucle) conforme aux normes V 24.

Vitesse standard : 110 - 600 bauds.
Options : 200, 1 200, 2 400, 4 800 bauds.

2) Transmission parallèle

Vitesse maximale : 700 caractères/s.

B. Télévision

1) Sortie vidéo standard 624 ou 625 lignes, 50 Hz, 1 V sur 75 Ω .

2) Entrée vidéo haute impédance.

Sur demande : entrée synchronisation séparée.

QUELQUES APPLICATIONS

— Enseignement : systèmes audiovisuels mixtes TV informatique et installation QCM.

— Banque d'images actives (gestion de crédits, gestion de stocks, de personnels et matériels mobiles, réservation de places...).

— Banque d'images passives (consultation de fichiers, de documents, de nomenclatures...).

— Diffusion d'informations sur réseau TV.

— Lecture et préparation de cassettes vidéo ou digitales.

— Mise au point de programmes.

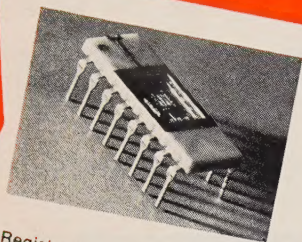
— Sorties de concentrateurs de mesure (superviseur).

— Sans clavier : visualisation de messages et journaux.

— Commande numérique de processus industriel.

SCHNEIDER ÉLECTRONIQUE, 12, rue Louis-Bertrand — 94-Ivry. Tél. 672.73.60

GENERAL INSTRUMENT



Registre à décalage dynamique
1024 bits (DL - 9 - 1402 A)

*permet une économie
spectaculaire
en appliquant aux MOS
des principes
révolutionnaires :*

- Compatibilité totale TTL/DTL (suppression d'interface)
- Intégration monolytique de fonctions complètes dans un seul boîtier



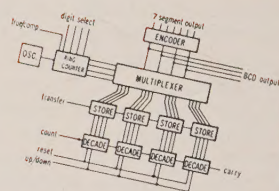
Convertisseur digital analogique
STOCHASTIQUE sans réseau de
résistance



Récepteur-transmetteur asyn-
chrone universel UART 1012



11-13, RUE GANDON
PARIS-XIII
TÉL. 588 74-31



Compteur-décompteur
à 4 décades AY-7-4007

Au lieu de vous abîmer la vue à recopier des microfilms, déclenchez Microdoc.

Le microdoc de Photogay est le premier lecteur, agrandisseur, copieur de microfilms.

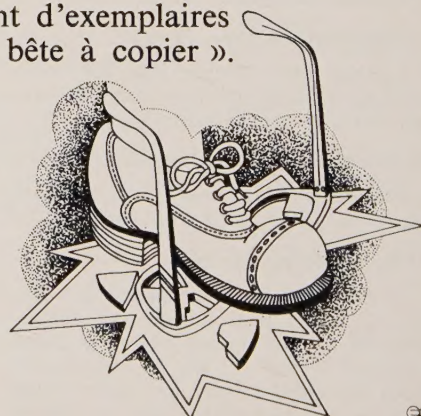
En quelques secondes, vous obtenez dans un format normalisé une copie sur papier de n'importe quel microfilm (16 ou 35 mm), microfiche, jacket, diapositive ou microfilm sous cartes perforées.

Une copie que vous pouvez diffuser à son tour en autant d'exemplaires qu'il est nécessaire puisque le microdoc est aussi une « bête à copier ».

Avec le microfilm l'information circule.

Avec le microdoc elle devient immédiatement utilisable.

PHOTOGAY
COPIE



téléphonant à PHOTOGAY, 154 rue Moncey 69 - LYON 3 Tél : (78) 84 45 81

OE

les prix se comparent à qualité égale



... chers clients et amis

C'est parce que vous avez des impératifs de sécurité exigeant un service sans défaillance que vous utilisez depuis près de trente ans les composants SECRE.

Votre fidélité au cours des années nous a permis de décupler nos moyens...

Mais c'est aussi parce que la réussite technique et commerciale passe par l'imagination créatrice, l'expérience, la compétence et la souplesse dynamique que nous pouvons toujours vous faire à qualité égale,

LES PRIX LES PLUS COMPÉTITIFS.

**FILTRES - LIGNES A RETARD - INDUCTANCES
TRANSFORMATEURS - ATTÉNUATEURS**

SECRE

DEPARTEMENT COMPOSANTS ELECTRONIQUES

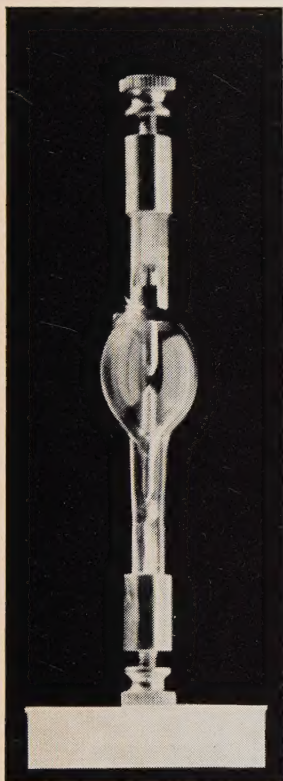
214-215 rue du Faubourg St-Martin - PARIS (10*)

Télex : 22.169 F

TÉL. : + 203-00-11

A QUALITE EGALE SECRE AJOUTE LA PERFORMANCE

SOURCES DE LUMIERE DE HAUTE INTENSITE



...au service de

- la physique
- la chimie
- la biologie
- la technologie

■ lampes à arc court

- Dans le Mercure H.P., de 100 à 500 watts. Très riche en U.V. de 300 à 450 nm, donc très actinique.

- Dans le Xénon, de 15 watts à 30 kilowatts. Température de couleur 6000°K, donc bon "rendu" des couleurs, mais aussi raies en proche I.R.

- Dans le Mercure avec additifs modifiant le spectre, pour holographie, éclairage sous-marin, etc.

■ lampes à capillaire de Mercure

refroidies à l'air ou à l'eau, jusqu'à 260.000 lumens

■ lampes à éclats (flash)

de toutes formes et toutes énergies jusqu'à 22 kilojoules

■ lampes à éclats ultra-brefs

2 nanosecondes

■ accessoires de mise en œuvre

Boîtes à lumière, alimentations, générateurs d'impulsions, machines à insoler pour circuits imprimés et micro-électronique.

Fabrications du groupe Illumination Industries-PEK (U.S.A.) et de USHIO (Japon)

DISTRIBUTEUR EXCLUSIF
POUR LA FRANCE :

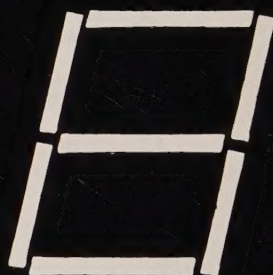
E^{TS} A. KOVACS

177 r. de la Convention-PARIS 15°
Tél. : 250.89.70 Téléc 25839

agence domerach 382

Monsanto

opto-électronique

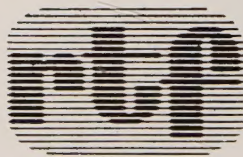


DEMANDE DE DOCUMENTATION

Monsieur :

Société :

Fonction :



Adresse :

Tél : 722.70.40 - TELEX : 65933

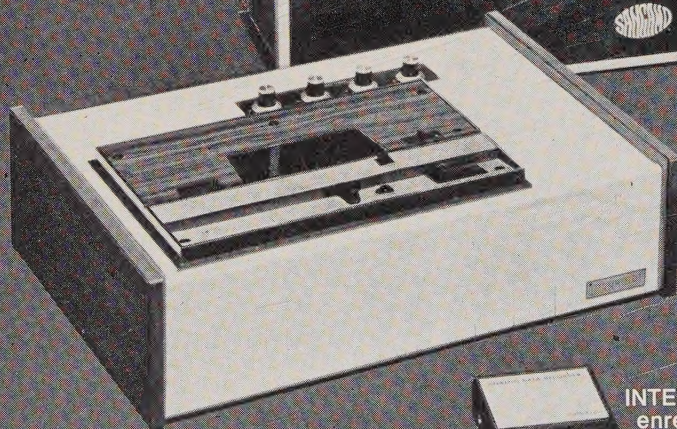
RADIO TÉLÉVISION FRANÇAISE

73, AVENUE CHARLES DE GAULLE - 92 NEUILLY-SUR-SEINE

En 1951, nous introduisons en France les premiers enregistreurs magnétiques d'instrumentation. Aujourd'hui, c'est une nouvelle génération d'appareils que nous vous proposons.

SANGAMO - SABRE IV
appareil de laboratoire
multistandard IRIG
FM du continu à 40-80-500 KHz
direct 300-600 KHz et 2 MHz
7 vitesses automatiques

**SANGAMO
SABRE III**
version portable
du Sabre IV

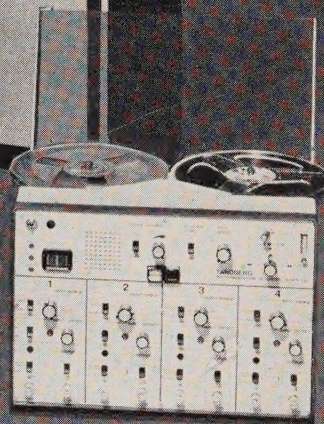


Lecteur pour enregistreur
InterMedCraft



INTERMEDCRAFT
enregistreur portatif
4 voies sur mini cassettes
autonomie 4 heures

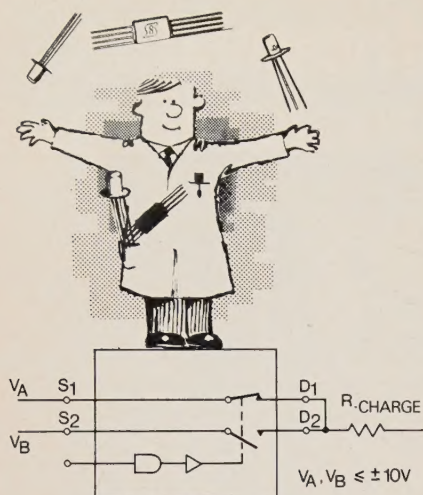
TANDBERG TIR 100
4 voies FM du continu à 2500 Hz
voie phonie
3 vitesses automatiques
oscilloscope de contrôle



création peter minor

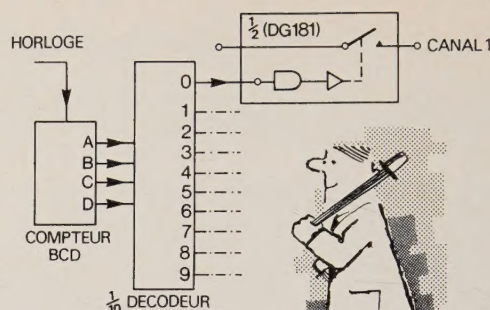
BUREAU DE LIAISON
113 rue de l'Université
PARIS VII^e - 551 99-20

Je désire recevoir la documentation ☐ la visite d'un représentant ☐
Nom : Société :
Adresse :



Commutateur pour Aiguillage Rapide

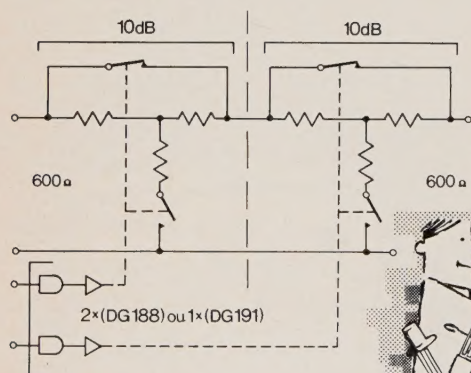
Ces séries sont caractérisées par un "turn off" plus court que le "turn on", ce qui permet dans le cas de cette application d'éviter le cumul de V_A et V_B au moment de la commutation. Cet exemple simple peut être adapté dans un grand nombre d'applications où les tensions V_A et V_B sont $\leq \pm 10$ V. Les séries Siliconix DG181/191 sont compatibles TTL — DTL — RTL et présentent des courants de fuite par canal inférieurs à 1nA.



Commutateur/Multiplexeur 10 Canaux à Faible Résistance "ON"

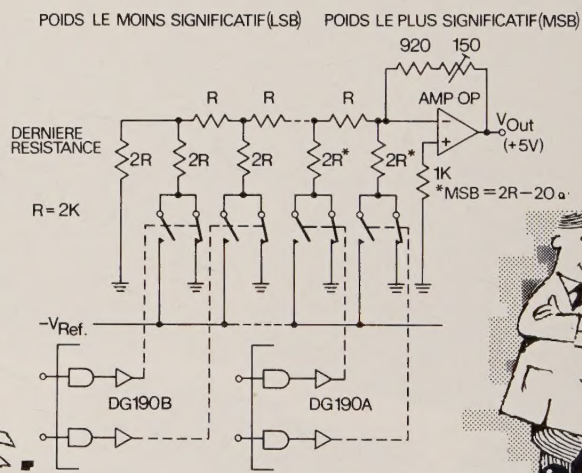
Ce commutateur rapide (300ns) utilise un demi DG181 pour chaque canal. Ce circuit est caractérisé par une résistance "ON" constante du continu à 100MHz et par une excellente isolation en position "OFF" (—50 db à 10MHz sous 100 μ).

Le DG181 est un SPST 2-canaux avec des commutateurs FET's commandés par un circuit d'interface monolithique.



Atténuateur Electronique

Une atténuation véritable est obtenue (0 db — 10 db — 20 db) en utilisant 1 DG191 (ou 2 DG188). Ces circuits présentent une bonne isolation en position OFF et une faible intermodulation. La résistance est constante jusqu'à 100MHz. Ils sont bien adaptés pour réaliser des équipements de tests automatiques et des contrôles digitaux de CAG. Le DG191 est un double SPDT (avec sorties séparées) constitué de commutateurs JFET's commandés par un circuit d'interface monolithique.

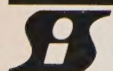


Convertisseur Digital/Analogique

Ce convertisseur 8 bits rapide (300ns) utilise le DG190, commutateur à JFET's canal N. Les applications possibles pour ce circuit sont : — réalisation de programme de test pour équipement, multiplicateurs hybrides, aiguilleurs d'informations analogiques, etc. . .

Les commutateurs ou Portes Analogiques Siliconix sont disponibles en TO5 modifiés, boîtiers plats et DIP. Toutes les configurations possibles entre 1 et 16 canaux sont disponibles. Vous serez étonnés du choix que nous vous proposons.

Téléphonez ou écrivez pour plus de détails.



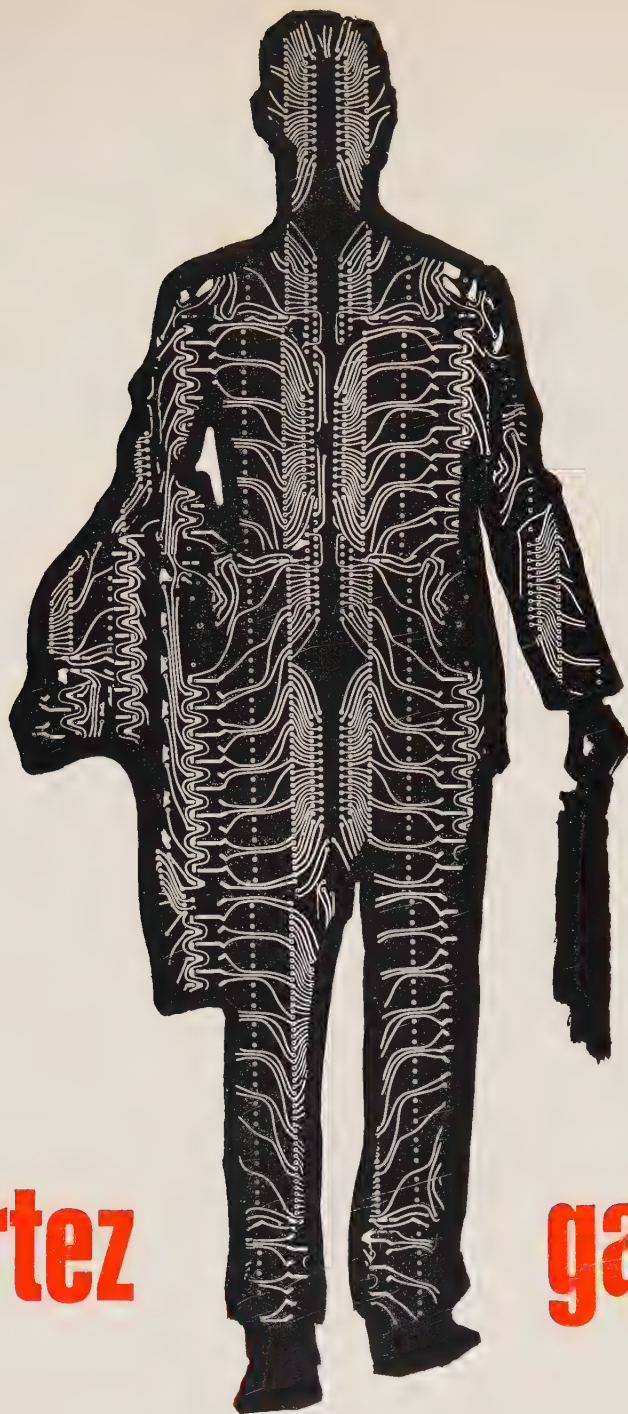
Siliconix pense FET's pour vous

Siliconix 9, Av. d'Arromanches
94- SAINT-MAUR
tel: 283.57.90 — 283.05.40
telex: Cacimond 23622F

Distributeurs:
Région Parisienne
ALMEX 110 rue Pierre Brosolette
92 — CHATILLON SOUS BAGNEUX
tel: 645.02.40

Région Sud-Ouest
AQUITAINE COMPOSANTS
226-228 cours de la Somme
33 — BORDEAUX tel: (56). 91.13.92

AQUITAINE COMPOSANTS
2 Bd. D'Arcole
31 — TOULOUSE tel: (61). 62.96.07



partez

gagnant

à la conquête de vos marchés

COMELIM

vous rend compétitif

route de Marcoussis 91. LIMOURS. tél. : 491.01.12

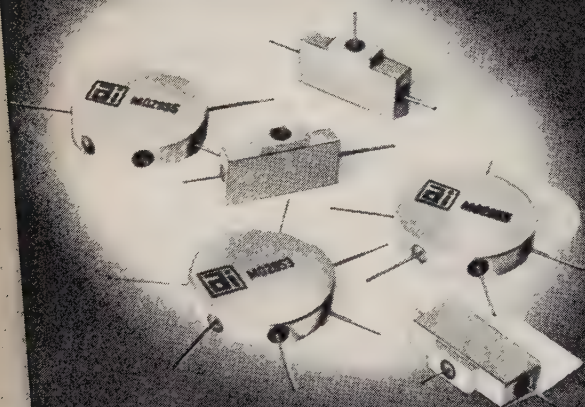


CIRCUITS IMPRIMES



CLASSIQUES ET A LIAISONS METALLISEES, MULTICOUCHES A HAUTE FIABILITE. **SERVICE PROTOTYPES RAPIDE**

HYPERFRÉQUENCES alpha industries



SEMI-CONDUCTEURS

VARICAPS "Q" très élevé

VARACTORS Si et AsGa

Schottky pour commutation
Step-Recovery - limiteuse
Pin, de bruit, à pointe Si
GUNN BANDE X et KU
Avalanches et Schottky
40 GHz max.

BEAM-LEAD :

Pin et Schottky

**CAPACITÉ HYPER-CHIP
et BEAM-LEAD**

Module de commutation

Détecteurs, Limiteurs
et Mélangeurs

PEMA INDUSTRIE BM 72107

**RADIO
TÉLÉVISION
FRANÇAISE**

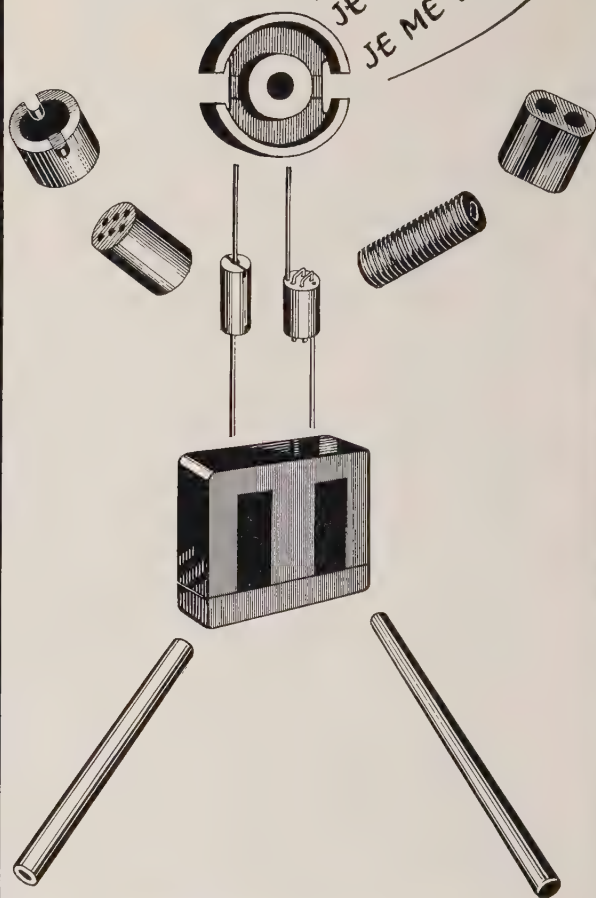


73 av. de Neuilly
92-Neuilly
Tél. 722-70-40



FERRITES SELS BOBINÉES

JE SUIS COMPÉTITIF
JE ME LIVRE VITE



COREL S.A.

3, VILLA POIRIER • PARIS-15^e
Tél. 566.69.33 (lignes groupées)
Télex 25 943 Secorel Paris

Pourquoi ce testeur de circuits linéaires a-t-il un succès international?



- **Parce que** ce testeur de circuits linéaires GR 1730 développé par General Radio est le résultat d'un demi-siècle d'expérience dans le domaine de tests de composants et de circuits.
- **Parce que** le testeur GR 1730 fournit, au moyen d'un simple bouton-poussoir, soit une indication GO/NO-GO soit un affichage numérique des mesures des paramètres du circuit à tester.
- **Parce que** ce nouveau testeur mesure les paramètres des amplificateurs opérationnels, des comparateurs, des amplificateurs suiveurs, des régulateurs de tension et des «sense amplifiers».
- **Parce qu'en** fait plus de 15 paramètres peuvent être analysés, y compris le produit gain/bande passante, la vitesse d'établissement du signal, l'impédance de sortie, les courants de polarisation et de décalage de 15 pA à 150 μ A, la mesure du bruit.
- **Parce qu'un** tableau mémoire programmable fixe les conditions de mesure et les limites d'acceptation de chacun des paramètres par préréglage manuel. Ce préréglage du tableau mémoire s'effectue sans câblage à l'aide de curseurs.
- **Parce que** les limites d'acceptation des paramètres peuvent être soit les limites données par le constructeur, soit les limites imposées par vos bureaux d'études.
- **Parce que** les supports adaptateurs fournis par GR facilitent le montage de la plupart des circuits linéaires sur le GR 1730.
- **Parce que** grâce aux sorties codées, les indications GO/NO-GO et les valeurs réelles des paramètres mesurés peuvent être sortis sur imprimante et/ou perforatrice, ou traités par ordinateur.
- **Parce que** notre technicité à toute épreuve nous permet de vous assurer une **garantie totale de 2 ans**.
- **Parce que** notre service d'études et notre réseau après-vente important, nous permettent aujourd'hui comme demain de vous offrir une assistance très efficace.

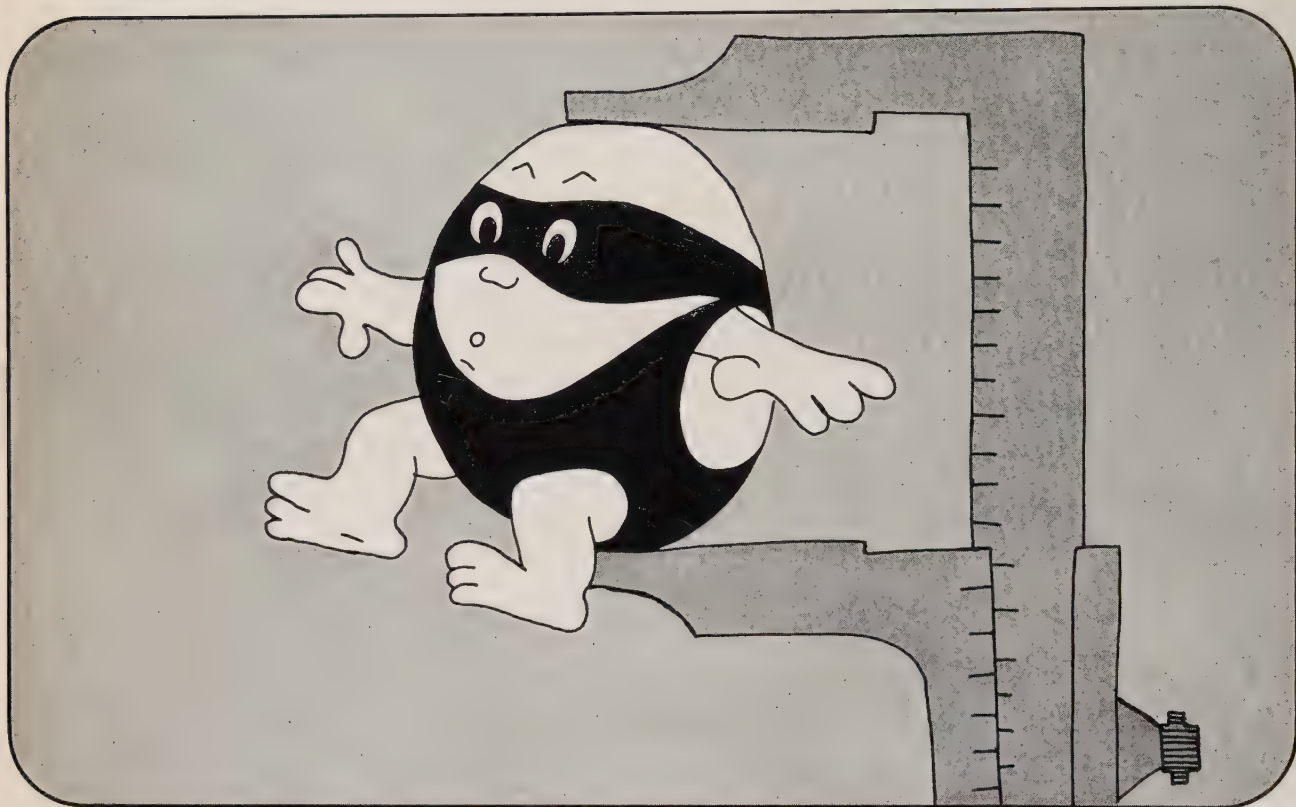
Pour de plus amples informations,
n'hésitez pas à nous contacter —
téléphonez ou écrivez à:

General Radio France
PARIS 11 - 27-29, AVENUE PARMENTIER (75) TÉL. 355 75 46
LYON 4 - 6, RUE SAINT FRANCOIS D'ASSISE (06) TÉL. 28 01 45/28 95 04

General Radio



quand il s'agit de mesurer des parasites la télec sait...



...et produit, pour vous, l'appareillage ad hoc.

Prenez un « raccourci ».
Désormais, il n'est plus nécessaire de vous adresser au-delà de l'hexagone pour acquérir les matériels qui vous sont nécessaires.

Pour vos mesureurs de champs et de perturbations à exploration manuelle ou

automatique de fréquences, sortie pour enregistrement et pour toutes mesures aux normes civiles et militaires : profitez au maximum du « circuit court » TELEC.

Documentation technique sur simple demande.

NOS AUTRES ACTIVITES

PERTURBATIONS HF
Protection, mesure, engineering.
REGULATION DE TENSION

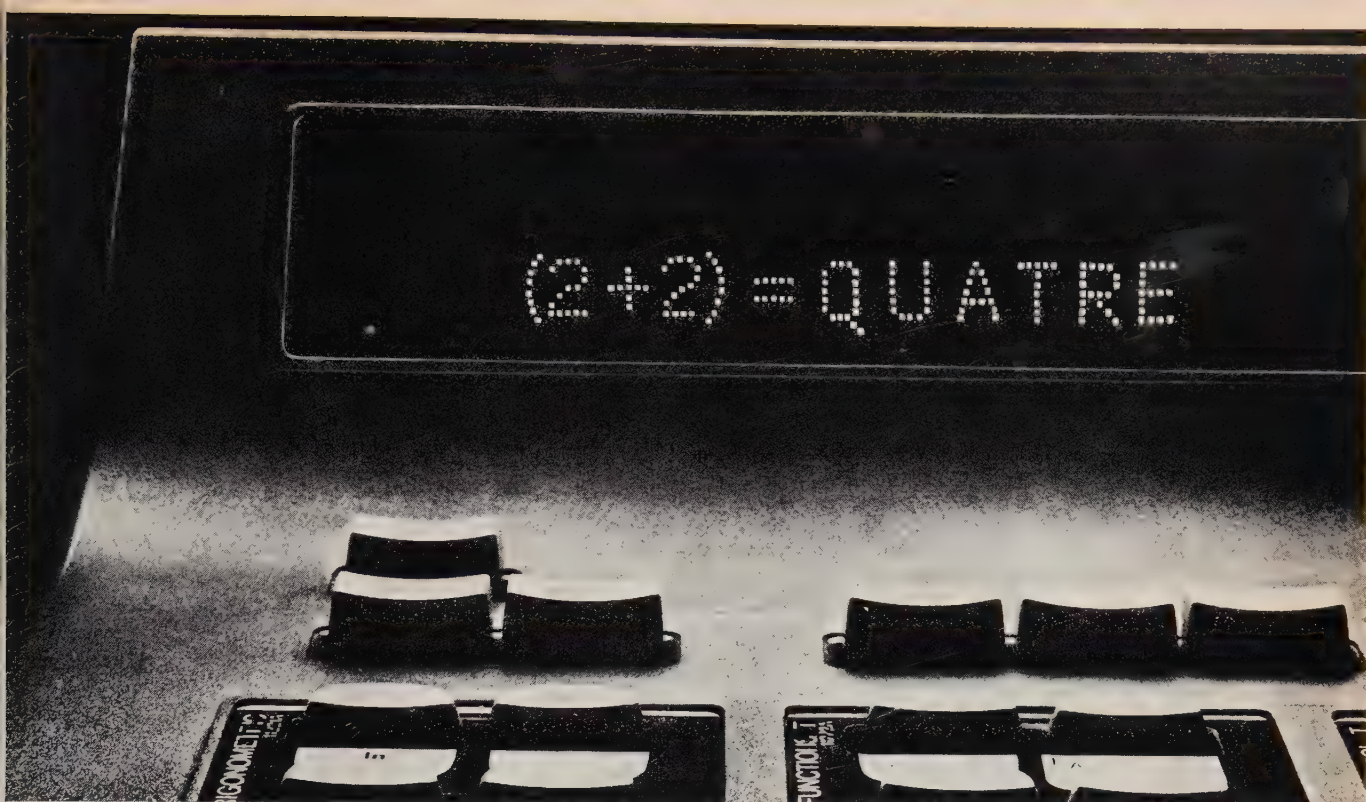
Alimentations stabilisées, régulation de tensions secteur.

TEMPERATURES

Sondes, thermocouples
MATRIELS AERONAUTIQUES
Déperditeurs de potentiel, clignoteurs de feux de position.
EXTENSOMETRIE
Matériels de mesures, prestations de service.



LA TECHNIQUE ELECTRONIQUE, 74, rue de la Fédération, Paris 15^e - Tél. 783.58.96 +



Hewlett-Packard: l'avant-garde des techniques de pointe en matière de calculateurs.

Langage de programmation algébrique, affichage et impression alphanumériques : les calculateurs de bureau ne seront plus les mêmes après l'apparition du modèle 20 de Hewlett-Packard.

Désormais, utilisateur et calculateur peuvent converser naturellement : introduisez les formules exactement comme vous les écrivez, donnez vos instructions en clair et non pas codées : vous obtenez les résultats en clair également et vous pouvez les transmettre tels quels.

La version de base du modèle 20 est dotée d'une puissance suffisante pour résoudre 17 équations simultanées. Sa puissance de calcul peut être étendue à 36 équations simultanées avec la même unité de traitement principale grâce à de simples modules enfichables. Et vous pouvez encore gagner en puissance et en souplesse par l'adjonction d'un instrument périphérique choisi parmi une gamme nombreuse : traceur X-Y rapide et précis (alphanumérique lui aussi), cassette à bande magnétique, imprimante, lecteur de bande perforée, perforateur, etc.

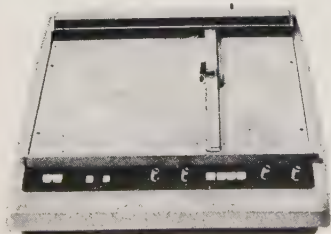
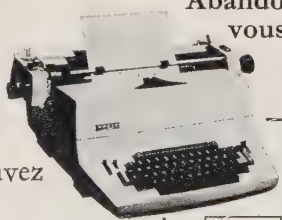
Le clavier peut être adapté à vos besoins personnels à l'aide de modules enfichables de circuits intégrés. Il existe même un bloc de fonctions "définissables" qui vous offre jusqu'à 25 fonctions personnelles différentes.

D'autres modules offrent des possibilités étendues de contrôle de périphériques (imprimante, traceur, lecteur-perforateur, instruments de mesure...).

Une caractéristique de ce calculateur réside dans la mise au point étonnamment efficace des programmes. Une simple touche vous permet à volonté de rechercher, de modifier, de supprimer ou d'insérer une instruction. Le modèle 20 ne nécessite pas de programmeur spécialisé et le secret des programmes est totalement respecté.

Un dernier point.

Abandonnez toute idée préconçue sur le prix qui vous empêcherait de nous retourner le coupon-réponse ci-joint : le prix du modèle 20 est inférieur à ce que vous oseriez espérer !



A retourner à Hewlett-Packard
Quartier de Courtabœuf B.P. 6 91-Orsay
Sans obligation, veuillez : (Cochez la mention choisie)
☐ M'envoyer un dossier technique
☐ Organiser une démonstration

Nom _____

Fonction _____

Société/organisme _____

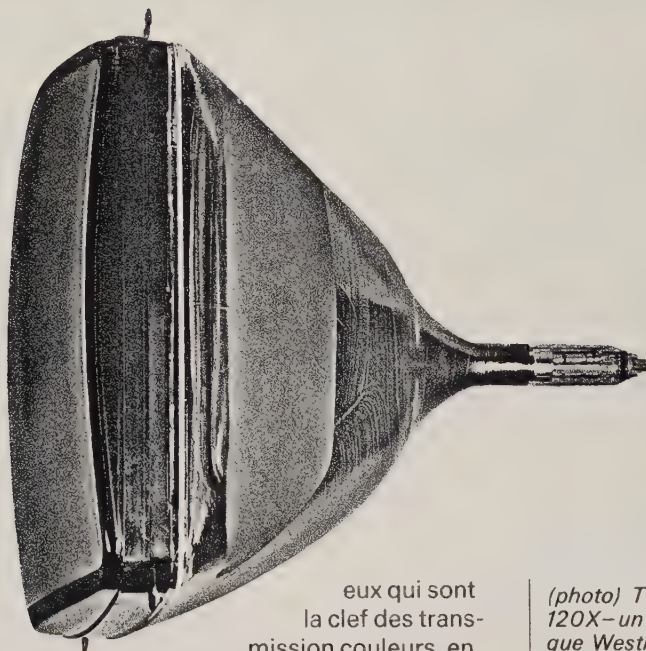
Adresse _____

Tél. _____

Poste _____

HEWLETT  PACKARD

A la mesure de vos exigences... la technique des tubes électroniques Westinghouse



Notre effort de développement est tout entier fondé sur vos exigences. Une bonne raison d'envisager l'emploi de composants électroniques Westinghouse; leur construction est en effet l'expression de vos besoins, non des nôtres.

C'est précisément cette attitude fondamentale totalement axée sur les exigences pratiques qui explique que nous ayons livré plus d'un million de tubes de TV couleurs à des fabricants de téléviseurs dans le monde entier.

C'est encore et toujours cette attitude qui a conduit à la production de tubes de TV couleurs avec la plus grande surface jamais vue (diagonale effective 67 cm). Une image de haute qualité aussi – grâce aux dispositifs électro-optiques à haut pouvoir de résolution inventés et mis au point par Westinghouse; ce sont d'ailleurs

eux qui sont la clef des transmissions couleurs, en direct de la lune.

Nos matériels équiperont aussi le satellite expérimental européen pour l'étude des rayons UV le (SAS -D), la mission Mars-Viking et le laboratoire spatial orbital «Sky Lab».

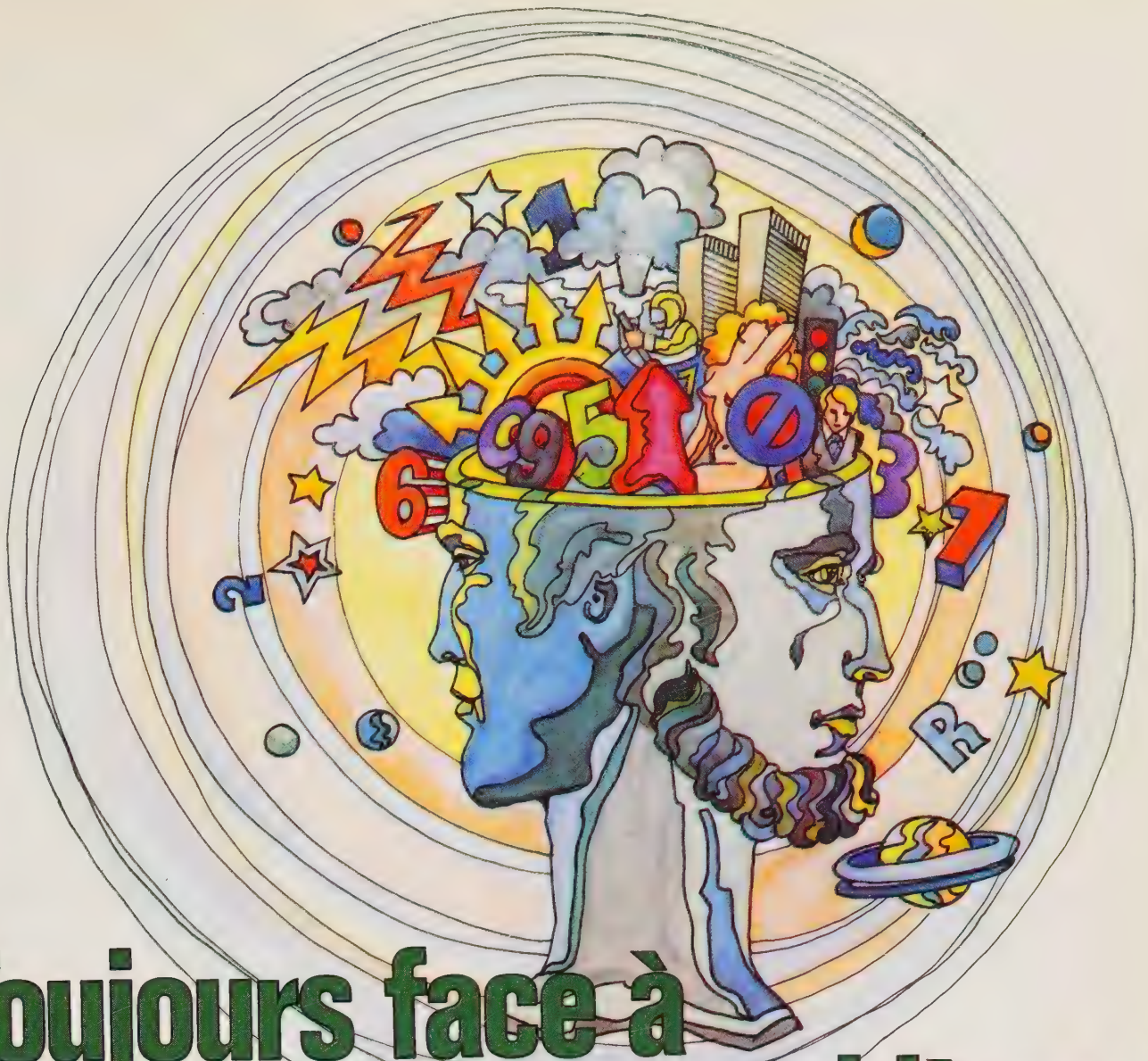
Chez Westinghouse, ces techniques scientifiques vont de soi. A leur manière, elles reflètent un autre résultat de notre attitude axée sur le «sur mesure» pratique. De la même façon, nous vous donnons accès aux derniers perfectionnements en la matière de tubes électroniques. Consultez nous à CDSW, avenue G. Durand, 72 Le Mans. Tél: (43) 84 33 40; tlx: 72 040.

FRANKFURT-GENEVE-LE MANS
LONDRES-MILAN-STOCKHOLM



Westinghouse Electric

(photo) Tube de TV couleurs A67-120X – un exemple typique de technique Westinghouse axée sur les exigences du marché. Son rendement et son pouvoir de résolution sont inégalés. Pour améliorer l'image sur téléviseurs grand-écran, un revêtement noir est appliqué marginalement à l'intérieur du col frontal; c'est une invention Westinghouse mise au point à l'intention des marchés européens.



Toujours face à vos problèmes



veuillez me faire parvenir
la documentation concernant :

Nom :
Prénom :
Société :
Service :
Adresse :
N° de téléphone :

PHILIPS INDUSTRIE

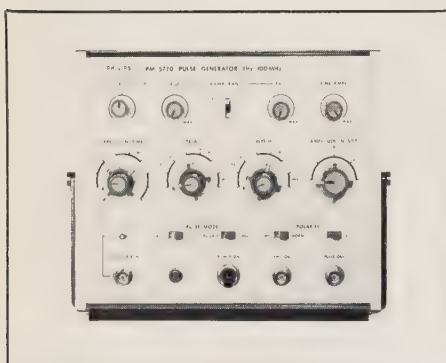
Département Instrumentation Electronique

105, Rue de Paris

93 002 - BOBIGNY

Le Département Instrumentation
Électronique de Philips Industrie
est spécialisé dans les appareils
de mesure destinés aux laboratoires
à l'industrie et à l'enseignement.

Toujours face à vos problèmes, tel
est notre objectif, c'est pourquoi
nous vous offrons une gamme
importante de générateurs de fonc-
tions et d'impulsions dont la diver-
sité, tant dans leurs performances
que dans leurs prix, permet de
répondre le plus efficacement à vos
besoins.



PM 5770

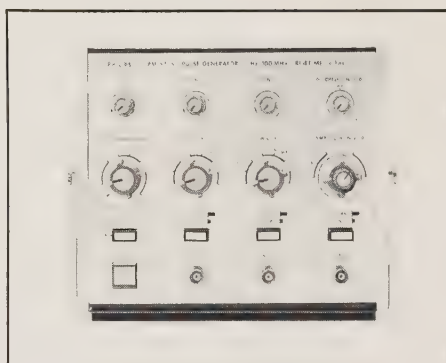
Le générateur d'impulsions universel
PM 5770 est un appareil léger et
compact, particulièrement recom-
mandé pour les mesures sur des cir-
cuits logiques, circuits intégrés, minu-
teries rapides pour calculateurs etc...
Sa gamme de fréquence élevée 1 Hz
à 100 MHz est aussi très intéressante
pour le contrôle des composants,
lignes et circuits à retard.

En plus de sa gamme de fréquence
très étendue, ce générateur offre les
possibilités de faire varier indépen-
damment les temps de montée et
descente des impulsions entre 4 ns
et 100 μ s, leur largeur entre 5 ns et
100 ms.

Amplitude : 30 mV jusqu'à 10 V dans
50 Ω .

Déclenchement extérieur.

Fonctionnement en monocoup et
impulsions doubles.



PM 5775

Ce générateur est particulièrement
recommandé pour les applications
dans le domaine des circuits logiques
rapides. Il possède des temps de
montée et descente identiques et
inférieurs à 1 ns. Il existe une version
à deux sorties dont les réglages
d'amplitude, de polarité et de position
normale/inversée sont indépendants,
c'est le PM 5776.

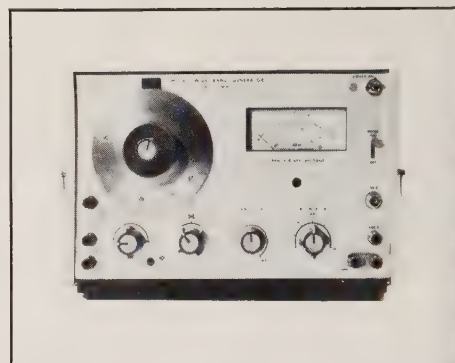
Fréquence de répétition : 1 Hz-
100 MHz.

Amplitude : 0,3-3 V dans 50 Ω .

Polarité : positive ou négative, nor-
male ou inversée.

Retard et largeur d'impulsions réglab-
les de 5 ns à 100 ms.

Déclenchement extérieur, porte syn-
chrone, fonctionnement monocoup,
simple ou double impulsions.



PM 5145

Le PM 5145 est un générateur large
bande pour usage général. Ses per-
formances font de ce générateur,
un appareil unique sur le marché.
La gamme de fréquence qui s'étend
jusqu'à 12 MHz pour les signaux
sinusoïdaux, couvre la quasi-totalité
des applications BF. La possibilité
de modulation en amplitude jusqu'à
1,2 MHz permet notamment l'étude
des courbes de réponse des amplifi-
cateurs vidéo et l'alignement des
récepteurs.

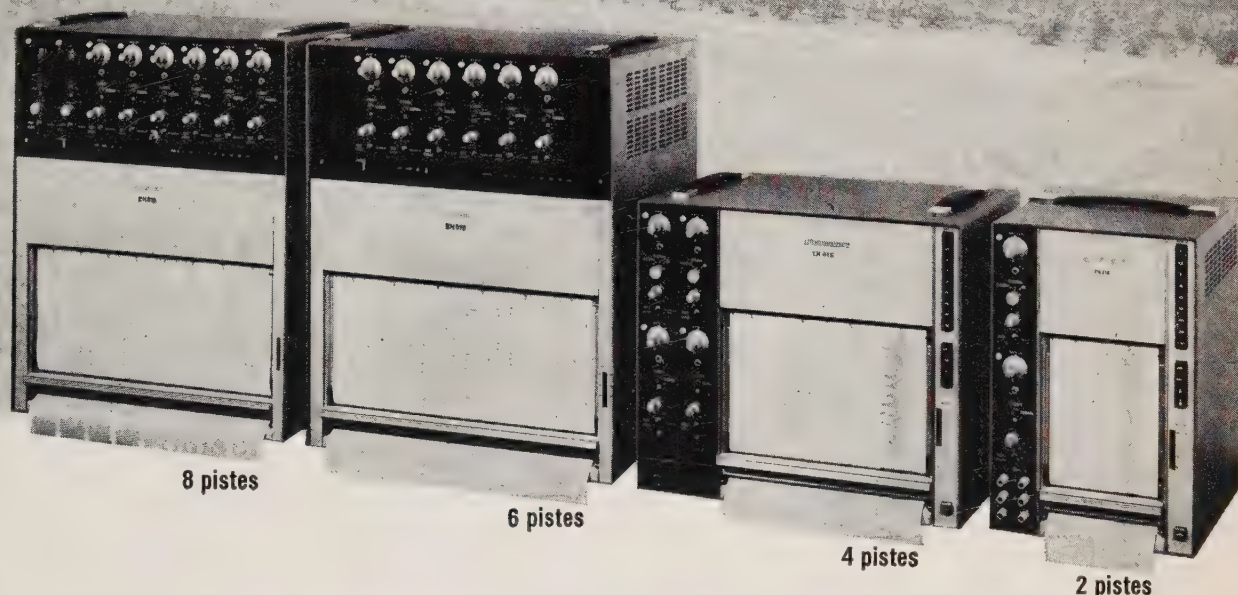
D'autres particularités telles que l'am-
plitude élevée des signaux rectan-
gulaires jusqu'à 1,2 MHz, les deux
impédances de sortie, la synchro-
nisation avec une fréquence extérieure
et l'indication du niveau de sortie
étendent considérablement ses possi-
bilités.

Parmi d'autres domaines d'utilisation,
on peut citer la téléphonie par courant
porteur, l'étude des filtres, des circuits
temporisés des ponts de mesure HF.

enregistreurs graphiques rapides

à encre sous pression

allco



la gamme **AIIcoscript** 4 modèles de 2 à 8 pistes de 50 mm vrais

- à traces parfaites : le débit instantané de l'encre sous pression est capable de suivre les plus grandes vitesses d'écriture
- à inscription rectiligne, garantie par le système ORTHOFAX*
- précis et fidèles : galvanomètres asservis par capteur d'angle PRECIGON*
- programmables : télécommande intégrale des vitesses de déroulement
- modulaires : choix étendu de préamplificateurs enfichables. Sensibilité max 0,5 V/mm - Impédance d'entrée 5 M Ω , différentielle ou asymétrique.
- fiables : homologués Marine Nationale.

* breveté

allco

LE SPECIALISTE DE L'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE

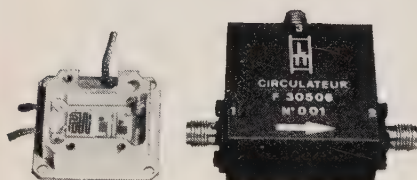
RUE SAINT-SAUVEUR - 91-BALLAINVILLIERS - B.P. 31 LONGJUMEAU 91 - TEL. : 920.79.12 +
TELEX : 60824 ALLCOBALIN - FRANCE

SALON INTERNATIONAL DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES: ALLEE 1 - STAND 39

L.T.T.
en tête des fabricants
européens de

composants
électroniques
de haute qualité

n° 6
**composants
hyperfréquence**



- 1 ferrites professionnels
ferrites pour télécommunications
- 2 condensateurs au tantale
- 3 condensateurs au polystyrène
- 4 circuits intégrés hybrides
- 5 microélectronique hyperfréquence
- 6 composants hyperfréquence
- 7 semi-conducteurs professionnels



**Lignes Télégraphiques
et Téléphoniques**

89, rue de la Faisanderie
Paris 16^e, tél. 504.45.50
télex 62356 Gralifil Paris

Quartz
Filtres à quartz
Pilotes à quartz
Enceintes thermostatées

Pilote à Quartz P 110
Fréquence : 5 MHz / 1 MHz / 100 kHz
Stabilité : $\leq \pm 5.10^{-9}$ par AN

C.E.P.E.

COMPAGNIE D'ELECTRONIQUE
ET PIEZO-ELECTRICITE

101, RUE DU Pdt. ROOSEVELT/78 SARTROUVILLE
FRANCE/TEL. 962.30.25



Alternative pour un millivoltmètre



10 μ V à 10 MHz

Le millivoltmètre numérique Schlumberger MVN 713 mesure les tensions alternatives sinusoïdales de faible niveau dans une gamme de fréquence de 20 Hz à 10 MHz.

C'est un appareil qui peut s'utiliser aussi bien en millivoltmètre qu'en décibel-mètre.

Sa précision exceptionnelle, l'accès à l'amplificateur, la présence d'une sortie continue pour enregistreur et d'une sortie

numérique pour imprimante lui ouvrent un vaste champ d'applications :

- étalon secondaire pour le réglage et le contrôle d'appareils de mesures alternatives
- mesure de tensions résiduelles de ronflement
- étude et réglage de filtres et d'atténuateurs
- relevé de courbes de réponse
- mesure de gains
- amplificateur large bande.

Le MVN 713, le meilleur choix.

- 10 MHz de bande passante
- 10 μ V de résolution
- 0,1 % de précision typique
- décibel-mètre.

CRC

Schlumberger

QE

votre garantie
de précision
et de stabilité.

bases de temps



Ces bases de temps sont utilisées dans tous les cas où il est nécessaire d'avoir une référence de temps sous la forme d'un signal électrique.

fréquence
de 1 Hz à 10 MHz

sortie
signaux carrés niveaux
compatibles à la logique T.T.L.

alimentation
+ 5 V

agence domerach 192 C

QUARTZ **QE** et ELECTRONIQUE

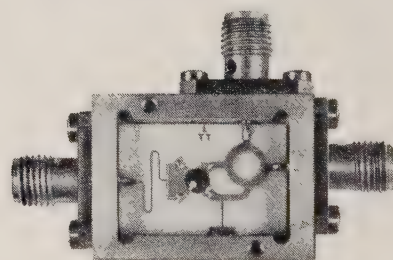
1, Rue d'Anjou - 92 Asnières - Tél. 793.47.10

L.T.T.
en tête des fabricants
européens de

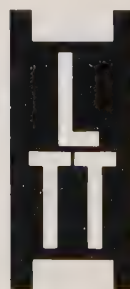
composants électroniques de haute qualité

n° 5

microélectronique hyperfréquence



- 1 ferrites professionnels
ferrites pour télécommunications
- 2 condensateurs au tantale
- 3 condensateurs au polystyrène
- 4 circuits intégrés hybrides
- 5 microélectronique hyperfréquence
- 6 composants hyperfréquence
- 7 semi-conducteurs professionnels



**Lignes Télégraphiques
et Téléphoniques**

89, rue de la Faisanderie
Paris 16^e, tél. 504.45.50
téléc 62356 Gralifil Paris

Publibel 1053



Connaissez-vous la plus large gamme de composants d'Europe en détail ?

SPI-ITT, Département Composants
Avenue Louis-Pasteur, 1
F — 92-Bagneux
Veuillez me faire parvenir
"l'Aperçu Général" des Composants ITT.

Nom :

Firme :

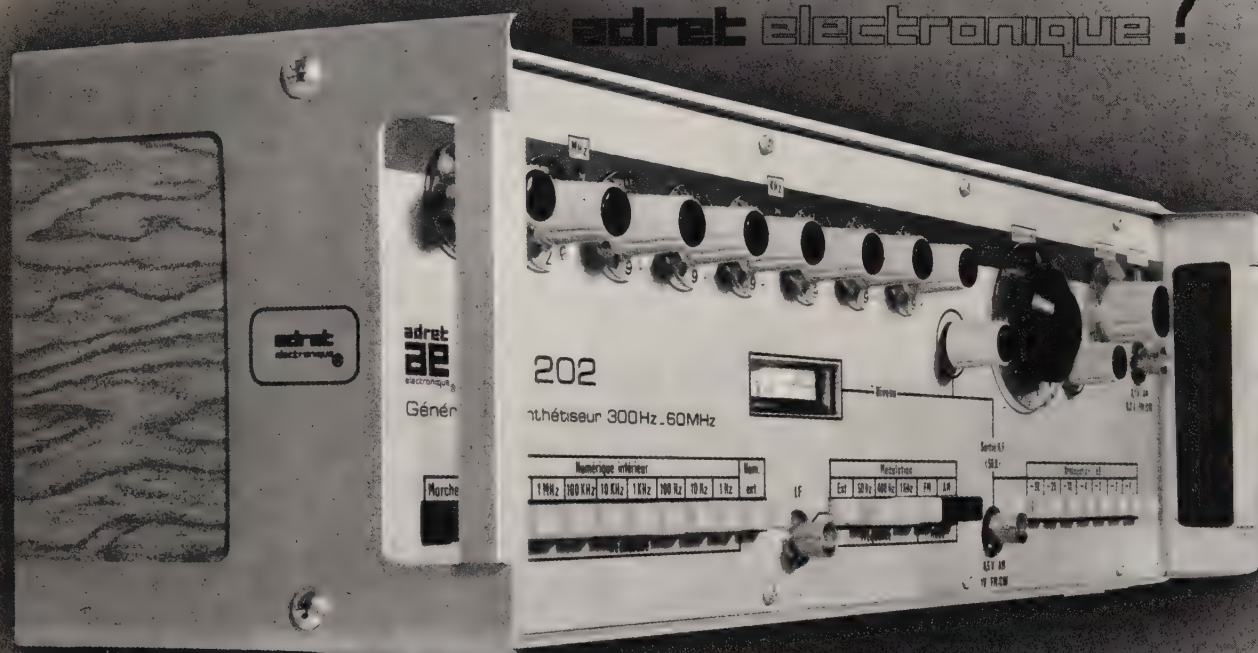
Département :

Adresse :

Peut-être n'êtes-vous pas encore bien au courant des produits fabriqués par les 58 usines de composants dont ITT dispose en Europe ? Faites le premier pas, et remplissez le coupon-réponse (ou faites usage de la carte-réponse de ce magazine). Ainsi vous recevrez une liste de nos produits qui vous guidera vers nos catalogues et nos brochures techniques.

COMPOSANTS **ITT**

► **VOUS,** qui utilisez des générateurs... connaissez-vous toutes les possibilités des synthétiseurs de fréquence adret électronique ?



ils sont l'équivalent de millions de quartz
 (prix moyen du quartz $2 \cdot 10^{-4}$ \$)

ils sont modulables (AM, FM, phase)

ils ont une stabilité de $2 \cdot 10^{-9}$

ils...

mais

demandez donc à

ADRET ELECTRONIQUE

son catalogue et sa dernière note d'application

SUD-OUEST : BASCOUL-ELECTRONIQUE - 35, rue Luchet - 31 - TOULOUSE - Tél. : 48.99.29 - LYON-GRENOBLE : LE BUREAU BARISIEN - 8-10, avenue du Grand-Sablon - 38 - LA TRONCHE - Tél. : (76) 87.67.71 - OUEST : SOREDIA - BP. 675 RENNES-35 - Tél. : (99) 60.50.29 & 50.76.23 - SUD-EST : DIMEL - 39, avenue Marceau - 83 - TOULON - Tél. : (94) 92.37.93.

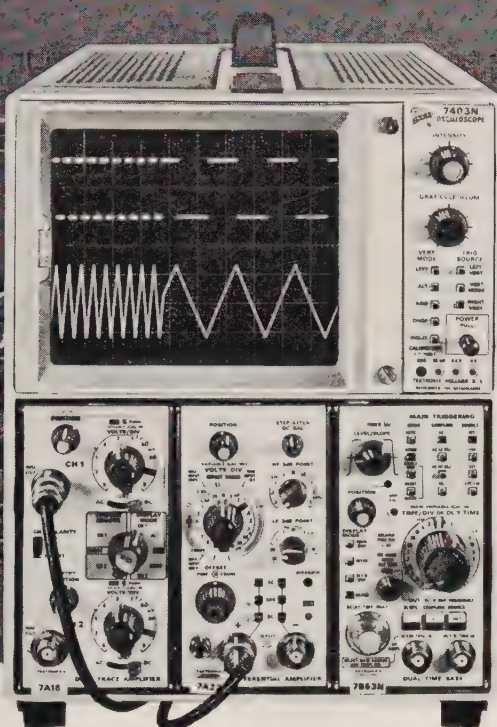
ALLEMAGNE : ADITRON - 43 - ESSEN Pilotstrasse 29 - Tél. : (02141) 70.49.89 - Niederlassung vom CEFAR : IMT, GmbH 5300 BONN 1 Meckenheimerstr. 64 - Tél. : (0-2221) 52-327 - BELGIQUE : SALT ELECTRONICS - 66 Chaussée de Ruissbroek BRUXELLES 19 - Tél. : (19 322) 76.20.30 - DANEMARK : TECHNITRON - 24, Klosterstraede DK - 1157 COPENHAGEN K - Tél. : Plaza 8-2790 - GRANDE-BRETAGNE : RACAL INSTRUMENT LTD - Dukes Street WINDSOR - Tél. : 75.35.098.11 - ITALIE : TECHNITRON S.R.L. - Via Flaminia 443/A 00196 ROMA - Tél. : 305838 - 394938 - Via Dezza 47 20144 MILANO - Tél. : 469.03.12 - ESPAGNE : HISPANO ELECTRONICA - Commandante Zorita 8 MADRID 20 - Tél. : 233.16.01 - 233.46.64 - NORVEGE : HENACD A/S - Cort Aders Gate, 16 SOLLI - OSLO 2 - Tél. : 472.56.51.80 - SUISSE : AMF, VANNER AG - Gerhardtstr 1 - 8036 Zurich - Tél. : (01) 33.00.70 - Télex : 52.965.

EUROPE DE L'EST : SEMIRA S.A. - 10, rue Lord Byron - PARIS 8e - Tél. : ELY. 98-15 - AUSTRALIE : WARBURTON FRANKI LTD - Parramatta Road 199 - AUBURN - N.S.W. - Australia, 2144 - Tél. : 648.1711 - ISRAEL : STG INTERNATIONAL LTD - 52 Nachlat Benyamin Street TEL AVIV - Tél. : 53.456 - AFRIQUE DU SUD : PROTEA PHYSICAL & NUCLEAR INSTRUMENTATION - 7 - Newton Street, Wemmer JOHANNESBURG - Tél. : 838.8351.

adret
ae
 électronique

AVENUE VLADIMIR KOMAROV
 78 - TRAPPES - FRANCE
 TEL. 462.83.50
 TELEX ADREL TRAPS 60 821

l'oscilloscope tous azimuts



Les oscilloscopes les plus répandus sont sans aucun doute ceux des séries 530/540/580. Il n'est pas un seul laboratoire d'électronique qui ne possède son 545. Ils ont fait merveille en leur temps.

Cependant les besoins évoluent et la technique aussi. Il est donc grand temps de rénover votre parc, d'autant plus que

Tektronix a prévu cela ; mais les budgets sont de plus en plus limités... Tektronix a pensé à cela aussi.

Par ses performances et possibilités accrues, et pour un prix inférieur, défiant toute concurrence le 7403N est l'oscilloscope qui remplace avantageusement les anciennes séries.

Quelques particularités :

- Ecran 10 x 12 cm
- Bande passante 60 MHz
- Observation simultanée de signaux très différents à l'aide de deux tiroirs verticaux
- balayage mixte
- post-accélération 15 kV
- grand choix de tiroirs

prix : 13.177 F H.T. équipé d'un tiroir 2 voies (5 mV/div) et d'une base de temps double.



TEKTRONIX

Z.I. COURTABŒUF - B.P. 13
(91) ORSAY - TEL. 907.78.27

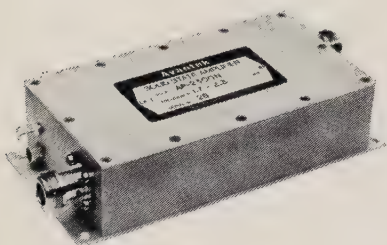
EN BELGIQUE : Av Jules César 2, 1150-BRUXELLES - Tél. 71.98.48

Sabies

AVANTEK

AMPLIFICATEUR 1 WATT

1,7 — 2,3 Ghz



Gain : 25 dB min $\pm$ 1 dB
Facteur de bruit : 10 dB max
Puissance de sortie (1 dB) :
+ 27 dBm
+ 30 dBm (200 Mhz de bande)
Point d'interception : + 37 dBm
Alimentation : + 15 Vcc
725 mA

AVANTEK

Amplificateur en boîtier TO 12

SÉRIE G P D

5 à 400 Mhz



- Gain : 9 à 13 dB $\pm$ 1 dB
- P sortie : — 2 à + 15 dBm
- Facteur de bruit : 4,5 à 7,5 dB
- FAIBLE PRIX
- Montage en cascade
- Ultra large bande
- Technologie couche mince.

SALIES S.A.

65-67, Av. Jean-Jaurès - 91-Palaiseau - 920.40.10

COLLECTION TECHNIQUE DE L'ORTF

L. GOUSSOT

Ancien élève de l'École Polytechnique

COURS D'ÉLECTRONIQUE GÉNÉRALE

Un ouvrage 15×24 cm, 654 pages — 605 figures, schémas et abaqués. Relié pleine toile
Prix en librairie : 140 F (Franco recommandé 144,90 F)

Le Cours d'Électronique Générale est le premier ouvrage d'une collection technique que l'ORTF prépare à l'intention de ses techniciens.

Il s'adresse également à tous les étudiants ayant au départ le niveau du baccalauréat et abordant une formation technologique supérieure au cours d'un cycle d'études qui est sensiblement celui des Instituts Universitaires de Technologie.

Un résumé des grandes lois de l'électricité, qui font partie de l'enseignement classique, prépare à l'étude plus pratique des circuits radio-électriques. Cette étude est abordée d'une manière progressive, en associant les aspects pratiques et théoriques pour l'étude des composants passifs, du signal en général, porteur de l'information ou modulé et atteignant progressivement les circuits de plus en plus complexes jusqu'à la théorie des dipôles actifs et passifs, des quadripôles et des réseaux en général. L'ouvrage se termine par la théorie des lignes de transmission et ce chapitre peut servir d'introduction à l'étude de la propagation guidée et des hyperfréquences qui n'est pas abordée dans ce cours. Ce livre qui sera suivi d'un second ouvrage d'enseignement général, rédigé par le même auteur, et traitant des composants actifs, tubes à vide et transistors ainsi que des circuits fonctionnels actifs, est donc particulièrement indiqué pour figurer en bonne place, aussi bien dans la bibliothèque de l'ingénieur que parmi les ouvrages du futur technicien de l'électronique.

BULLETIN DE COMMANDE

aux ÉDITIONS CHIRON - 40, rue de Seine, PARIS (6^e)

Veuillez m'expédier à l'adresse suivante

..... exemplaires du :

COURS D'ÉLECTRONIQUE GÉNÉRALE

Je vous adresse par le même courrier la somme de F, montant de ma commande (1).

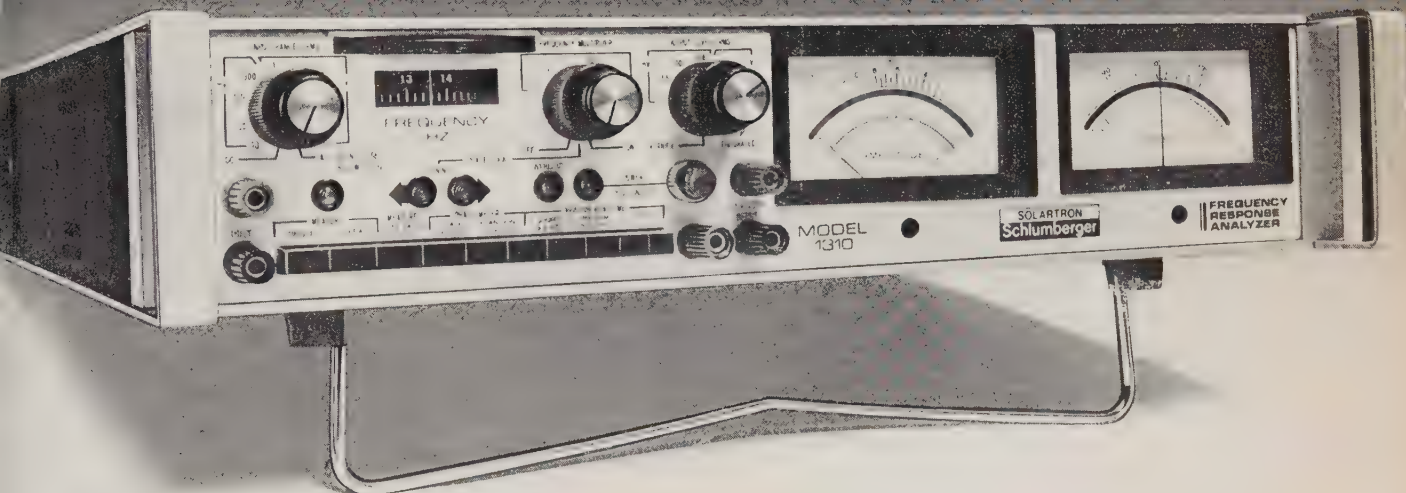
Date :

Signature :

(1) Versement à notre C.C.P. PARIS 53-35, Éditions CHIRON ou par chèque bancaire.

ÉDITIONS CHIRON - 40, rue de Seine - PARIS (6^e)

Phasemètre pour réponse en fréquence.



Avec le DA 1310, Schlumberger complète sa gamme d'instruments pour l'analyse dynamique.

Compact, simple à manipuler, le DA 1310 est conçu pour l'étude de la courbe de réponse en fréquence, (amplitude et phase) de tout quadripôle électrique, électronique ou mécanique: filtres, amplificateurs, circuits bouclés, servo-mécanismes, etc.

- La courbe de réponse est relevée automatiquement dans une plage de fréquence comprise entre 0,02 Hz et 20 kHz, quelle que soit la distorsion du signal à analyser. Cette souplesse d'emploi provient du fait que la

mesure s'effectue à partir du signal fondamental et n'est pas affectée par les bruits et les phénomènes parasites; les perturbations sont rejetées à plus de 40 dB.

- Un voltmètre corrélateur affiche les résultats sous forme polaire de manière très stable sur deux indicateurs: l'un, mesure l'amplitude (précision $\pm 1\%$), l'autre, la phase (précision $\pm 1^\circ$). Les informations sont également disponibles sous forme de tension analogique pour enregistrement sur table traçante et traitement numérique.

- Le DA 1310 comporte un modulateur et un démodulateur

utilisables indépendamment. Le signal de sortie et l'entrée du voltmètre sont flottants. Le générateur peut être verrouillé en phase sur un signal de référence extérieur périodique.

Léger, portable, le DA 1310 est indispensable dans les laboratoires de recherche, dans l'enseignement et dans les applications industrielles. Il ne coûte que 30 500 F H.T.

Schlumberger

350 MHz-portable !

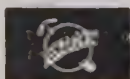


2 voies

LE 485 TEKTRONIX... c'est encore des innovations... des avantages...

- 2 impedances d'entree commutables :
 - 1 M Ω /250 MHz à 5 mV/div (1 div = 0.8 cm) permet de faire des mesures sur des sources à haute et basse impédance en conservant le même organe de liaison
 - 50 Ω / 350 MHz à 5 mV/div
- protection automatique contre les surcharges ...
- Déclenchement stable à toutes les fréquences
 - en interne au choix à partir de la voie 1 ou de la voie 2
 - en externe, visualisation du signal de déclenchement sert de référence de temps aux signaux exposés
- Observation simultanée en balayage retardant et retarde permet en même temps de repérer et d'analyser la portion du signal à étudier
- Vitesse de balayage max : 1 ns/div sans expenseur améliore la linéarité et accroît considérablement la luminosité ce qui a permis de doubler la vitesse d'écriture
- Vitesse d'écriture : 7.2 div/ns avec P 11
- Une seule commande pour passer de YT à XY simplifie les manipulations
- Contrôle automatique du courant de faisceau protège le phosphore de l'écran contre les brûlures
- Correction automatique de la concentration de la trace signifie un gain de temps et une économie de pellicules photo, surtout en balayage unique.
- Correction en fonction de la luminosité
- Affichage des sensibilités tenant compte de l'atténuation supprime tout risque d'erreur de mesure des sondes
- 10 kg seulement et encombrement réduit ! se transporte facilement.

Son prix : de F 27.000 à F 30.000 suivant options.



TEKTRONIX®

Z.I. COURTABŒUF B.P. 13
(91) ORSAY - Tél. : 907.78.27

CENTRES REGIONAUX : 49 Lyon (70 11), (78) 72 08 76 • 09 Villeneuve-Loubet-Plage, Tél. (93) 31 29 84 • 31 Toulouse, Tél. (61) 42 04 50 • 35 Rennes, Tél. (99) 30 05 30 • 54 Nancy, Tél. (28) 27 24 8

BELGIQUE : Avenue Jules César 2, 1150-BRUXELLES - Tél. 71.98.40

résumés

OPTOELECTRONIQUE ★ SEMICONDUCTEURS

L'OPTOÉLECTRONIQUE DES SEMICONDUCTEURS, par M. FERTIN.

Les semiconducteurs optoélectroniques offrent des possibilités qui se précisent de jour en jour dans de nombreux domaines.

Nous présentons ici une revue de synthèse des applications rendues possibles maintenant grâce aux améliorations récentes des performances. Il s'agira principalement des émetteurs de couleur visible, des systèmes afficheurs de caractère, des photocoupleurs et des matrices de réception d'images. Nous soulignerons enfin la propriété spécifique de grande fiabilité des dispositifs optoélectroniques à jonction.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 205 à 209, MAI 1972

CAVITÉ HYPERFRÉQUENCE ★ DIÉLECTRIQUE

FRÉQUENCES PROPRES D'UNE CAVITÉ HYPERFRÉQUENCE CYLINDRIQUE CONTENANT UN ÉCHANTILLON DIÉLECTRIQUE CYLINDRIQUE COAXIAL, par A. POINSOT et J.-C. JOLY.

Les auteurs établissent la relation qui relie sans approximations, les fréquences propres de résonance d'une cavité hyperfréquence contenant un échantillon diélectrique, aux paramètres géométriques de la cavité et de l'échantillon, et à la constante diélectrique de cet échantillon. Ils discutent du choix d'un mode à utiliser pour la mesure de cette constante.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 223 à 227, MAI 1972

ANALYSE SPECTRALE ★ RECONNAISSANCE DES FORMES ★ ACOUSTIQUE

PREMIERS PAS VERS LA RECONNAISSANCE DES FORMES ACOUSTIQUES, par G.M. MARCOUX.

On présente un système d'analyse spectrale qui fournit une représentation continue, dans le plan fréquence/temps, des « objets sonores » étudiés. Une telle transformation sert ensuite de point de départ à une reconnaissance de la parole.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 210 à 212, MAI 1972

SPECTROMÉTRIE ★ RAYONNEMENTS X ★ SEMICONDUCTEURS

SPECTROMÉTRIE DE RAYONNEMENTS X DE FAIBLE ÉNERGIE PAR SEMICONDUCTEURS, par A. FRIANT.

Après une rapide description d'un spectromètre X à détecteurs Si (Li) refroidis nous analysons les différentes caractéristiques de la tête de détection : ainsi que les applications envisagées. Nous décrivons la technologie des diodes au silicium compensé au lithium à très faibles capacités et courant inverse, ainsi que les techniques électroniques permettant d'obtenir des résolutions électriques de l'ordre de 100 eV : préamplificateur à étage d'entrée refroidi et à contre-réaction optoélectronique.

Les possibilités de détection de photons X à température ambiante avec des détecteurs semiconducteurs sont également évoquées.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 228 à 234, MAI 1972

ONDE ELECTROMAGNÉTIQUE ★ CRISTAUX LIQUIDES

VISUALISATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES HYPERFRÉQUENCE A L'AIDE DES CRISTAUX LIQUIDES, par J. PUYHAUBERT.

Après avoir rapidement passé en revue les divers procédés de visualisation thermographiques actuellement utilisés, l'auteur montre les possibilités offertes par la mise en œuvre des « cristaux liquides cholestériques » pour visualiser les champs électromagnétiques hyperfréquence.

La validité de ce nouvel outil est démontrée par un rapprochement des résultats de mesure relative de la valeur de l'intensité des champs hyperfréquence obtenue par l'exploitation de la visualisation colorée et des résultats théoriques calculés dans le cas d'une structure simple.

Quelques applications sont décrites.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 213 à 217, MAI 1972

PHOTOCOUPLEURS ★ SEMICONDUCTEURS

PHOTOCOUPLEURS A SEMICONDUCTEURS, par J. LEBAILLY et C. GONIN.

Les photocoupleurs à semiconducteurs tendent à trouver des applications de plus en plus nombreuses. Les auteurs décrivent les techniques utilisées dans leur élaboration et leur influence sur les performances et la fiabilité. Les photocoupleurs pourront dans l'avenir remplir des fonctions encore plus diversifiées, dont la multiplication nécessitera une étroite collaboration entre les utilisateurs et les fabricants.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 218 à 222, MAI 1972

summaries

MICROWAVE CAVITY ★ DIELECTRIC

NATURAL FREQUENCIES OF MICROWAVE CYLINDRICAL CAVITY CONTAINING A COAXIAL CYLINDRICAL DIELECTRIC SAMPLE, by A. POIN-SOT and J.-C. JOLY.

Authors establish relation connecting, without approximations, natural resonance frequencies of a microwave cavity containing a dielectric sample, with geometric parameters of cavity and sample, and with dielectric constant of this sample. They discuss choice of mode to use for measurement of these constant.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 223 to 227, MAY 1972

OPTOELECTRONIC ★ SEMICONDUCTOR

SEMICONDUCTORS' OPTOELECTRONIC, by M. FERTIN.

Optoelectronic semiconductors present possibilities in numerous fields.

Review synthesis of applications now possible by means of recent improvements of efficiency are presented. It consists principally of visible colour emitter, type indicators, photocouplers and images reception matrix. Specific property of great reliability of junction optoelectronic devices is outlined.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 205 to 209, MAY 1972

SPECTROMETRY ★ X RAYS ★ SEMICONDUCTORS

SEMICONDUCTOR LOW ENERGY X-RAY SPECTROMETRY, by A. FRIANT.

After a short description of an X-spectrometer with Si (Li) cooled detectors, application and various characteristics of the detection device are studied.

Very low capacity and inverse current lithium compensated silicon diodes technology is described so that electronic technics allowing to obtain electrical resolutions of about 100 eV : optoelectronic feed-back and cooled front stage preamplifier.

Possibilities of ambient temperature X-photon detection with semiconductor devices are also presented.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 228 to 234, MAY 1972

SPECTRAL ANALYSIS ★ SHAPE RECOGNITION ★ ACOUSTICS

FIRST STEPS TOWARDS ACOUSTIC SHAPE RECOGNITION, by G.M. MARCOUX.

A spectral analysis system furnishing a continuous representation in frequency/time plane of studied « sound objects » is presented.

Such a transformation is used as starting point for speaking recognition.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 210 to 212, MAY 1972

ELECTROMAGNETIC WAVE ★ LIQUID CRYSTALS

ELECTROMAGNETIC MICROWAVES VISUALISATION WITH LIQUID CRYSTALS, by J. PUYHAUBERT.

Author reviews different actually used thermographic visualisation processes then he shows the possibilities given by means of « cholesteric liquid crystals » for the visualisation of microwaves electromagnetic fields.

The new tool availability is proved by a comparison between relative measurement results of ultra high frequency fields intensity obtained by coloured visualisation scanning and calculated theoretical results in simple structure case.

Some applications are described.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 213 to 217, MAY 1972

PHOTOCOUPERS ★ SEMICONDUCTORS

SEMICONDUCTOR PHOTOCOUPERS, by J. LE-BAILLY and C. GONIN.

The semiconductor photocouplers meet a increasing number of applications Their design and technology and the related characteristics and reliability are described. In the future, the photocouplers will be applied to still more diverse functions, which will need close cooperation between the designers and the users.

ONDE ÉLEC. Vol. 52, fasc. 5, pp. 218 to 222, MAY 1972



R.T.C.

L'optoélectronique des semiconducteurs

Résumé

Les semiconducteurs optoélectroniques offrent des possibilités qui se précisent de jour en jour dans de nombreux domaines.

Nous présentons ici une revue de synthèse des applications rendues possibles maintenant grâce aux améliorations récentes des performances. Il s'agira principalement des émetteurs de couleur visible, des systèmes afficheurs de caractère, des photocoupleurs et des matrices de réception d'images. Nous soulignerons enfin la propriété spécifique de grande fiabilité des dispositifs optoélectroniques à jonction.

Introduction

L'apport des semiconducteurs dans le domaine de l'optoélectronique est maintenant clairement établi et nous proposons dans le cadre de ce document, d'examiner comment de nouvelles applications peuvent apparaître du fait des améliorations considérables des performances et des coûts et de l'augmentation de la complexité des fonctions remplies.

Les progrès importants accomplis ces dernières années dans les technologies des matériaux semiconducteurs émetteurs de lumière laissent entrevoir de nouveaux domaines d'applications dans les matériels professionnels, militaires et dans un proche avenir dans les matériels grand public. Ces progrès résultent principalement d'une amélioration de la connaissance des méthodes de préparation des matériaux, des mécanismes de recombinaisons radiatives dans les jonctions, et des technologies d'injection de courant et de collection de lumière : ils ont essentiellement permis une baisse considérable des coûts de fabrication.

Dans le domaine très vaste du transfert d'informations, les associations émetteurs-récepteurs, qu'elles soient réunies dans un seul boîtier, ou encapsulées séparément, sont maintenant largement employées.

Nous verrons que les récentes études de fiabilité laissent prévoir des durées de vie prometteuses pour les systèmes de la télégraphie et de la téléphonie.

Enfin, nous examinerons le domaine des capteurs d'images, étant donné son étendue, nous nous limiterons à décrire rapidement les utilisations des techniques MOS récemment développées de prise d'image et particulièrement bien adaptées à cette application.

Dans chacun des domaines envisagés, nous essaierons de prévoir si les semiconducteurs pourront concurrencer les autres solutions possibles.

Pour terminer, nous exprimerons le souhait que les organismes compétents étudient sans tarder la normalisation des enveloppes et des caractéristiques électriques et optiques en tenant compte largement des lois de l'optique physiologique.

Les émetteurs de couleur

Chacun sait à présent que de façon certaine les voyants à jonction PN commencent à supplanter les indicateurs à lampes à incandescence miniatures.

Actuellement, seule la couleur rouge est disponible en large quantité à des prix compétitifs parce que la technologie du matériau semiconducteur utilisé est arrivée à un stade d'industrialisation suffisamment avancé.

Pour compléter la large gamme des couleurs, les laboratoires de recherche et les industriels concernés font des efforts importants : déjà apparaissent des dispositifs verts, certains annoncent du jaune.

A ce jour, personne n'ose projeter l'émission électroluminescente de couleur bleue car les technologies des matériaux nécessaires qui sont de quasi-isolants ne sont pas connues.

Il ne faudrait pas oublier les structures émettrices de lumière infra-rouge à arséniure de gallium couplées à un « phosphore » servant à la conversion de longueur d'onde ; en particulier pour l'émission verte et surtout bleue. Le mécanisme d'émission fait intervenir deux rendements successifs : celui de l'émetteur IR et celui des fluorures de terres rares, autrement dit, il conduit à des efficacités globales qui demeurent faibles à ce jour mais ces structures peuvent constituer une des rares solutions pour l'émission de couleur bleue.

Pour revenir à notre jonction PN, et en supposant que la panoplie des couleurs élémentaires est suffisamment complète, nous constatons qu'elle présente des avantages technologiques importants de compatibilité de montage, d'assemblage collectif et de commande avec les moyens électroniques modernes. La dimension, le diagramme de rayonnement, l'effet ponctuel ou au contraire diffusant, sont réalisables directement lors de l'enrobage plastique. Si au contraire, un degré d'étanchéité élevé est indispensable, les techniques d'encapsulation des transistors sont directement transposables. La résistance aux chocs, vibrations et cycles de températures permet de prévoir des applications dans les domaines les plus sévères. Enfin, la vitesse de commutation rend

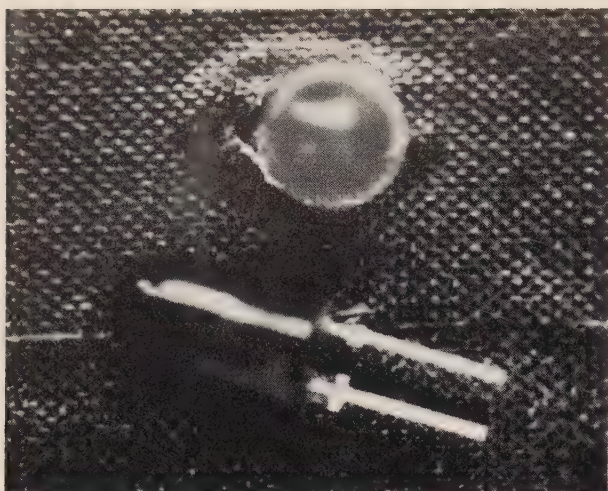


FIG. 1. — Diode électroluminescente de couleur rouge à Ga As P.



FIG. 2. — Illustration des trois couleurs actuellement disponibles à l'aide de dispositifs électroluminescents : Ga P (jaune et vert) Ga Al As (rouge).



FIG. 3. — Afficheur numérique rouge 11 bornes.

ce voyant compatible avec les circuits électriques de commande pour autant que l'énergie totale émise sensibilise suffisamment la rétine.

Dans le chapitre des inconvénients, on placera en tête la nécessité de disposer d'un signal redressé et le plus souvent d'une résistance d'adaptation de tension. Il est important de noter que plus on tend vers la couleur bleue en partant de rouge, plus la tension de

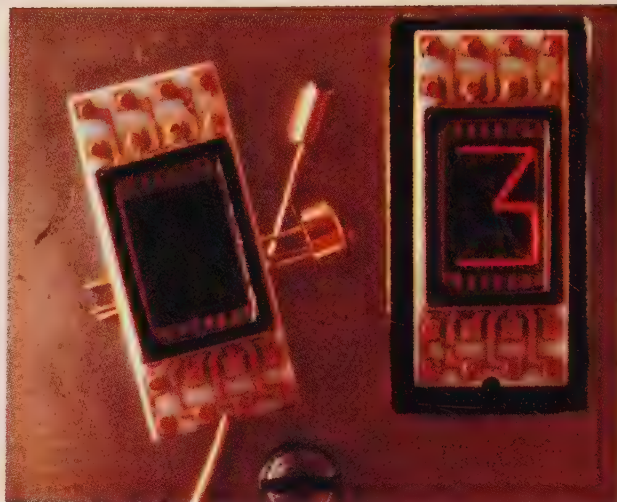


FIG. 4. — Afficheur alphanumérique rouge 18 bornes.

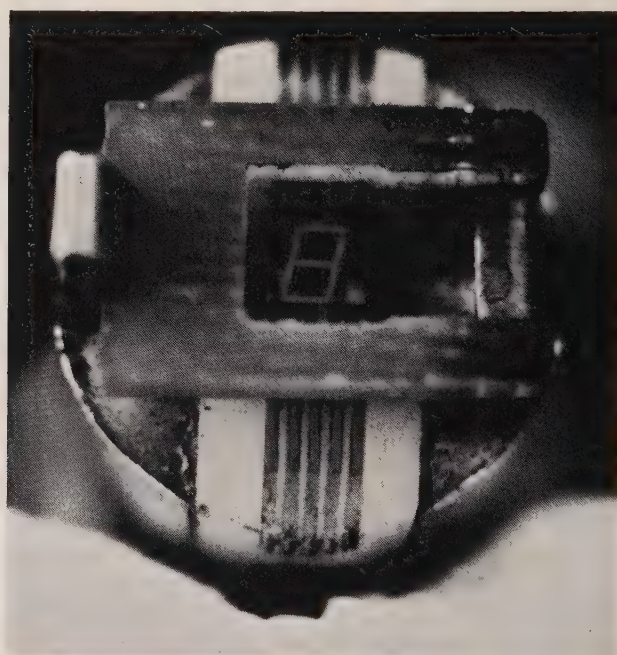


FIG. 5. — Afficheur numérique rouge 7 bornes.

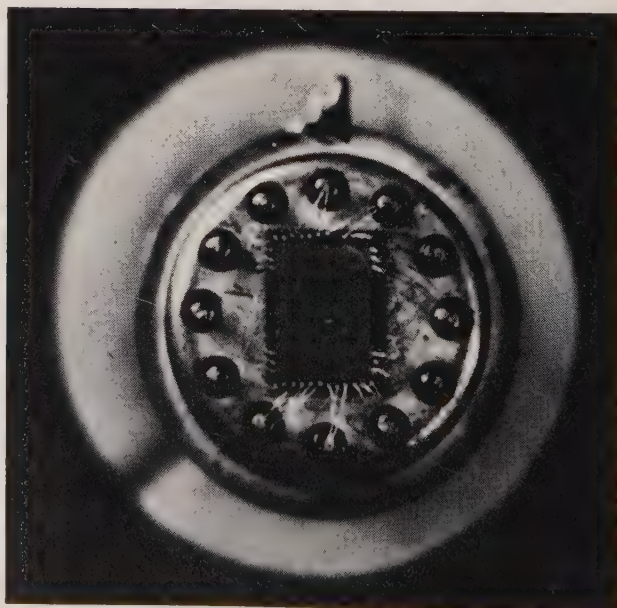


FIG. 6. — Afficheur alphanumérique 35 points.

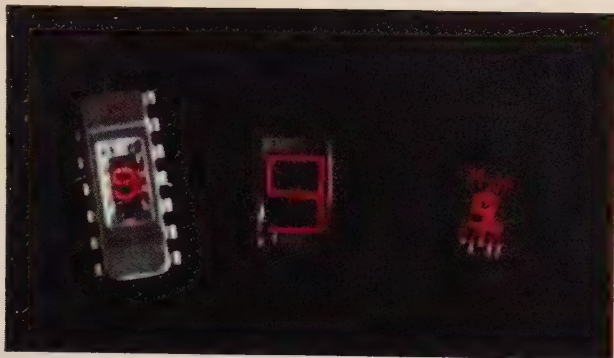


FIG. 7. — Afficheur numérique.

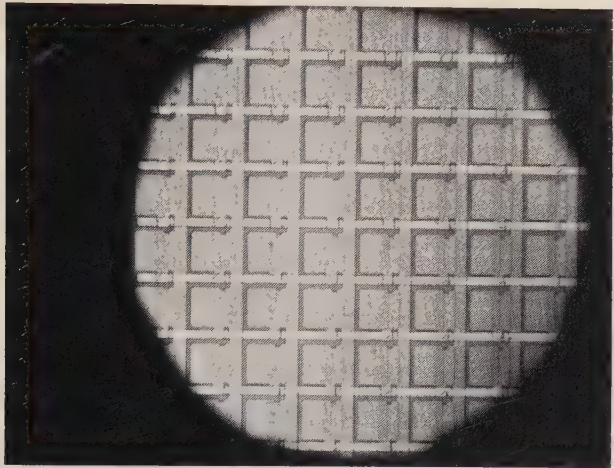


FIG. 8. — Matrice de réception à transistors MOS (Cliché L.E.P.).

commande augmente, tout en restant certes dans des limites raisonnables 1,6 à 2,7 V.

Enfin, et pour demeurer sur une note optimiste, les progrès espérés devraient conduire à une diminution de la consommation électrique ou inversement à une augmentation de l'efficacité visuelle.

Les afficheurs de données

Cette famille de composants est conçue pour remplir les multiples fonctions de présentation de données qui peuvent être numériques, alpha-numériques, linéaires, rectilignes ou courbes, cumulatives ou non. De très nombreux paramètres la caractérisent : dimension du ou des symboles, nombre de points ou d'éléments lumineux, type d'association des éléments en cathode commune, ou structure matricielle, caractère unique ou multiple. Si on considère en outre la possibilité d'associer des sources de différentes couleurs pour un même système d'affichage, on s'aperçoit de l'immense éventail des possibilités. Pour préciser comment viennent se placer les afficheurs électroluminescents semiconducteurs, nous faisons d'abord un inventaire des autres solutions connues et déjà utilisées largement.

En faisant abstraction des systèmes mécaniques, par exemple à volets mobiles, on peut distinguer les systèmes à incandescence, à décharge dans les gaz, à cristaux liquides et les tubes à rayon cathodique.

Il est certain que les progrès importants effectués dans la miniaturisation des lampes à incandescence ont grandement élargi leur domaine d'utilisation en

tant qu'afficheurs puisque l'on trouve sur le marché des lampes unitaires à 7 filaments pour affichage numérique et même de petits sous-ensembles alpha-numériques où les ampoules sont couplées à des guides de lumière. Les faibles dimensions ajoutées à une consommation électrique raisonnable, environ 4 V et 20 à 50 mA par point, en font des éléments très employés. Signalons cependant leur faible durée d'emploi, même si certains constructeurs garantissent jusqu'à 5 à 10 000 h et la difficulté du remplacement impliquant souvent le démontage du système.

Rappelons brièvement que les tubes à décharge, déjà très largement utilisés, impliquent des tensions de commande relativement élevées, que leur allumage engendre des parasites souvent gênants et que leur longue durée de vie est obtenue grâce à l'introduction de mercure dans le tube, ce qui exclut son emploi dans certains environnements. Leur couleur est, jusqu'à présent, limitée au rouge orangé.

Les dispositifs à cristaux liquides apparaissent a priori particulièrement adaptés à l'affichage : lecture en réflexion, contraste relativement constant en fonction du niveau de l'éclairage ambiant, grande dimension obtenue à faible coût. Cependant de nombreux problèmes technologiques ne sont pas résolus actuellement, concernant les cristaux liquides eux-mêmes et l'électronique de commande. Les gammes de température d'utilisation et de stockage sont très étroites (un abaissement de la température pouvant même les détruire) ; leurs performances en fonctionnement demeurent limitées. Leur faible vitesse de commutation rend l'électronique de commande complexe en particulier lorsque l'on veut visualiser un grand nombre de caractères.

Rappelons pour terminer, les possibilités offertes par les tubes à rayons cathodiques en passant sous silence les tubes classiques dont la grande densité d'informations qu'ils sont susceptibles d'afficher, les classe en dehors de cet inventaire. Nous voulons parler des tubes miniatures beaucoup plus sophistiqués utilisant par exemple des masques ayant la configuration des symboles habituels. Grâce à cet artifice, ces tubes se comparent avantageusement avec les autres solutions énumérées, malheureusement les luminances nécessaires impliquent des tensions d'accélération allant de 600 à 2 500 V, ce qui constitue une sujétion souvent sérieuse.

Parmi cet inventaire volontairement limité, les semiconducteurs offrent des propriétés très attrayantes, alimentation relativement bien adaptée avec les circuits intégrés de décodage déjà disponibles, encapsulation compatible avec les exigences d'environnement de la microélectronique ; ajoutons que les fabricants s'arrangent pour que l'enrobage soit actif optiquement pour améliorer le contraste ou la dispersion, ou mieux encore présente un certain agrandissement géométrique obtenu au détriment du diagramme de rayonnement.

Si nous nous intéressons maintenant à un autre type d'affichage, dit analogique, celui dans lequel une aiguille ou une colonne lumineuse traduit l'évolution de l'information, on constate que les semiconducteurs, grâce à leur grande souplesse de montage et de commande peuvent également couvrir ce domaine d'affichage. Le traitement logique du circuit de com-

mande des points lumineux est alors parfaitement compatible avec l'orientation actuelle qui consiste à convertir les informations des capteurs en signaux logiques qui peuvent alors être centralisés comme par exemple les systèmes industriels, aéronautiques, etc.

Pour atteindre le même degré d'information que celui présenté par une aiguille se déplaçant devant une graduation, c'est-à-dire la valeur absolue du signal, sa valeur relative par rapport à un niveau connu, sa dérivée première, il est certain que la microélectronique hybride doit encore progresser. En particulier des moyens technologiques économiques nouveaux devraient permettre d'associer des cristaux de natures différentes (silicium, composés III-V), dans des dimensions adaptées pour que l'œil soit bien sensibilisé.

On voit alors quels progrès importants seront accomplis dans le remplacement des cadres mobiles ou des systèmes électromécaniques à ruban.

Cet inventaire des caractéristiques offertes par les afficheurs à jonction PN ne serait pas complet si certains de leurs inconvénients actuels n'étaient évoqués.

Le premier concerne la consommation électrique qui demeure importante lorsque l'éclairement ambiant est élevé. Une deuxième difficulté provient du mécanisme physique de la recombinaison radiative à savoir qu'il n'y a aucun effet de mémoire possible, autrement dit, le circuit de commande d'un sous-ensemble multicaractère implique une commande en impulsions et pour garantir l'impression rétinienne, il est indispensable de la régénérer 25 fois par seconde au minimum. Une autre donnée importante concerne les prix, si actuellement l'incandescence puis la décharge dans les gaz sont meilleur marché que l'électroluminescence dans les semiconducteurs, les progrès qui se poursuivent dans les méthodes d'élaboration des matériaux et des composants permettent d'améliorer encore les rendements et par là les coûts.

Les matrices de réception de lumière

On peut classer les composants semiconducteurs récepteurs de lumière en fonction de la largeur de bande interdite du matériau de base : plus elle est faible, plus on pénètre dans l'infrarouge ; si elle est de l'ordre du volt, on couvre le domaine visible et proche infrarouge.

Volontairement, nous n'évoquerons pas les capteurs infrarouges dont les propriétés très spécifiques limitent l'emploi à la détection d'énergie thermique ou à la transmission de signaux en dehors du spectre visible, autrement dit, un domaine d'applications principalement militaires.

Voyons plutôt comment se situent les utilisations des capteurs en silicium en laissant de côté ceux en germanium dont les technologies ne permettent pas de remplir des fonctions complexes et dont le spectre est trop centré dans le proche infrarouge, nous ne parlerons pas non plus de la conversion d'énergie des cellules solaires. Nous allons examiner quelles sont les solutions récemment apparues pour capter des

images et traiter les signaux correspondants à l'aide soit de barrettes de capteurs devant lesquelles on fait défiler mécaniquement l'image, soit des matrices intégrées XY.

Rappelons seulement pour mémoire la solution mixte qu'est le vidicon à silicium dans lequel la photocathode traditionnelle est remplacée par une matrice de photodiodes planes. En dehors des nombreux avantages bien connus de ce système, disons simplement que les signaux transmis sont analogiques et que les signaux, lorsqu'ils sont digitaux, sont bien souvent plus faciles à traiter et mieux adaptés aux moyens de transmission modernes.

On peut distinguer quatre technologies différentes d'élaboration de ces matrices à diodes et transistors bipolaires, à transistors MOS, à transfert de charge et à transvasement de charge (1). Notons que ces moyens d'élaboration permettent de capter le signal, d'interroger électroniquement chaque point et le plus souvent d'adapter le capteur avec les amplificateurs vidéofréquences qui suivent.

Il apparaît à ce jour que les deux dernières méthodes citées ci-dessus devraient particulièrement se développer.

Dans ce type de capteur solide, le pas des points photosensibles 10 à 30 μ est largement supérieur à celui des grains des photocathodes traditionnelles, la définition des images est donc inférieure à celle exigée par la télévision du domaine grand public, leurs autres propriétés permettent par contre d'aborder de nouveaux domaines d'applications. Nous voulons parler principalement de leur robustesse, même sous éclairement violent, de leur très grande durée de vie opérationnelle (pas de canons à électrons susceptibles de contaminer les photocathodes) du traitement logique des signaux, de leur faible encombrement, de la consommation électrique insignifiante.

Ces propriétés les placent avantageusement pour la reconnaissance de caractères, la transmission de facsimilé et de dessin, le contrôle industriel en continu de dimensions, d'état de surface et un jour peut-être, l'aide aux aveugles.

Le transfert optique des informations - Photocoupleurs

Il s'agit ici d'un vaste domaine où les possibilités d'extension sont encore très grandes mais nous précisons qu'il ne s'agit pas dans le cadre de cet exposé de développer les applications de transmission à grande distance où le signal optique est guidé ou non — mais des utilisations à courte portée et essentiellement dans les systèmes électroniques ou électrotechniques, où les quantités consommées de composants opto-électroniques apparaissent beaucoup plus importantes.

Ce composant appelé photocoupleur ou parfois photo-isolateur, se présente comme un quadripôle et remplit le plus souvent une fonction de transfert

(1) L'auteur voulant volontairement faire la distinction entre les systèmes Charge Coupled Devices, c'est-à-dire à transfert de charge et les systèmes Bucket Brigade à transvasement de charge.

d'information. Cependant, l'émetteur de lumière, en l'occurrence une simple diode électroluminescente peut illuminer non seulement un photorécepteur qui transmet le signal mais aussi un photorécepteur plus complexe remplissant une fonction spécifique. Nous disposons en effet d'une large variété de types : photodiodes, photorésistances, phototransistors, photothyristors, photorédresseurs contrôlés, photobascules à seuil. Chacun des types ci-dessus, et la liste pourra encore être élargie, sera utilisé lors de la conception du circuit chaque fois que l'on cherchera un isolement quasi parfait et une rejection de la sortie sur l'entrée nulle.

Le gain et la vitesse de ces coupleurs doivent être pris en considération pour l'application visée et ces paramètres dépendent du type de récepteur utilisé. Il semble que c'est dans la gamme de quelques centaines de kilohertz de bande passante que les plus nombreuses applications existent, là où le gain du phototransistor permet un transfert en courant voisin de l'unité. Dans la gamme inférieure, le montage avec photo Darlington délivre alors un transfert voisin de 1 000 pour une bande de 10 kHz environ, au contraire le coupleur à photodiode permet d'atteindre plusieurs mégahertz au détriment du transfert limité au pourcent.

L'utilisateur pourra faire son choix parmi les trois types de coupleurs pour la téléphonie, la télégraphie ou la commande de circuits électriques de puissance en remplacement des transformateurs d'impulsions et dans tous les cas où il voudra isoler les circuits logiques de traitement des petits signaux des circuits de puissance de commande de machine qui sont en général couplés à un réseau d'alimentation parasite.

Le photo-isolateur permet en particulier d'éviter les dommages causés par les pics de tension du réseau alternatif transmis à travers les thyristors aux circuits MOS de commande des machines. Un autre exemple concerne l'isolement des tensions parasites circulant par les lignes de masses dans les grands systèmes électroniques.

Notons cependant que dans ce transfert du signal, la propriété du relais électromécanique de présenter une résistance inférieure à l'ohm et une tension résiduelle nulle à l'état passant n'est pas encore atteinte par les semiconducteurs pas plus qu'à l'état bloqué les impédances ne sont comparables.

Conclusion

Nous venons de dresser un tableau des possibilités des composants optoélectroniques semiconducteurs, le sujet a déjà été largement discuté et

ce depuis fort longtemps, mais si leurs applications se précisent maintenant très rapidement, c'est grâce aux progrès technologiques réalisés qui ont permis essentiellement de baisser les coûts et simultanément d'augmenter les performances. On peut en effet dire aujourd'hui qu'un voyant semiconducteur rouge a un prix comparable à celui d'un voyant à incandescence, demain cela sera aussi valable pour les couleurs jaune, verte et orange. Les travaux importants effectués sur les circuits électroniques de commande des afficheurs de données conduiront eux aussi à une baisse de coût de la fonction et par là à élargir leur domaine d'emploi.

Notons cependant que dans chacun des domaines d'application envisagée, il n'existe pas de solutions universelles satisfaisant tous les besoins.

En ce qui concerne l'affichage, il est important de souligner la relative faiblesse de nos connaissances des effets physiologiques lorsqu'il s'agit de définir un sous-ensemble d'afficheurs à quelques dizaines de caractères : contraste, dimensions, luminance instantanée et moyenne, intensité lumineuse constituent des paramètres difficiles à déterminer.

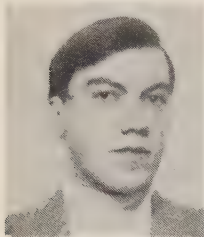
Il est important enfin d'exiger l'emploi d'unités photométriques normalisées, adaptées à l'application ; le fabricant spécifie parfois la performance ultime de son composant, en terme d'efficacité alors que l'utilisateur cherche au contraire à remplir une fonction d'information dans un milieu plus ou moins contrasté. D'autres précisent la luminance dans la direction privilégiée alors que le diagramme de rayonnement est très ouvert ou encore le milieu où se tient l'émission est très dispersif.

Précisons qu'un effort urgent de normalisations des enveloppes reste à accomplir ; si le plus souvent et pour des raisons évidentes de coût, on utilise les boîtiers standards de la microélectronique, personne ne s'est encore penché sur le problème des connexions, des dimensions, du sens du brochage, etc.

Pour terminer sur une note optimiste, soulignons combien la propriété spécifique de grande fiabilité des semiconducteurs est valable dans le cas des dispositifs optoélectroniques à jonction. Les photorécepteurs présentent d'une façon générale des caractéristiques de fiabilité comparables à celles des dispositifs semiconducteurs traditionnels.

En ce qui concerne les dispositifs électroluminescents, le niveau de connaissance actuelle a atteint un stade qui permet de déterminer les conditions de fonctionnement (courant, température, etc.) compatibles avec les durées d'utilisation de 10^4 , 10^5 , voire 10^6 h. Ces conditions sont réellement adaptées aux applications ci-dessus.

J. FERTIN, né en 1933, ingénieur ICAM et R.ESE est adjoint au Chef de Laboratoire de Recherche et de Développements avancés au Centre Industriel de RTC-La Radiotechnique-Compelec, route de la Délivrande, 14-Caen.



Faculté des Sciences de Paris

Premiers pas vers la reconnaissance des formes acoustiques

Résumé

On présente un système d'analyse spectrale qui fournit une représentation continue, dans le plan Fréquence/Temps, des « objets sonores » étudiés. Une telle transformation sert ensuite de point de départ à une reconnaissance de la parole.

1. Introduction

La décomposition en série de FOURIER est appliquée depuis fort longtemps aux signaux acoustiques. Elle concrétise, dans ce cas particulier, un des aspects du problème plus général du filtrage des signaux.

Considérée par certains comme un prétraitement indispensable, et par d'autres comme un luxe superflu, l'analyse spectrale des signaux acoustiques permet néanmoins une représentation commode des « objets sonores » qui composent la parole ou la musique.

En effet, on dispose, à chaque instant, de la « clé » de répartition des fréquences composant le signal dans le spectre acoustique. Cette clé n'est, bien sûr, qu'une « caricature » de la répartition physique réelle, vue à travers le pouvoir séparateur, nécessairement limité, de l'instrument d'analyse. L'évolution de cette clé dans le temps, donne un schéma représentant des « formes » contenues dans le signal et qui peut être exploité par un système de reconnaissance. (anamorphoseur ou détecteur d'homothéties, comparateur lexicographique, corrélateur, etc.)

2. Description générale

Les analyseurs de spectres peuvent se classer en deux catégories [3] suivant la façon dont se passe l'analyse : fonctionnement simultané ou fonctionnement séquentiel.

Le choix d'une analyse en temps réel impose le fonctionnement simultané de tous les canaux. Chaque canal traite une bande de fréquences particulière du signal original et communique des informations sur son amplitude. Les paramètres correspondant à chaque voie sont la fréquence centrale F_c et la bande explorée autour de F_c , B_p . On peut y ajouter un coefficient de pondération G traduisant le gain de la voie.

Dans le but de permettre l'exécution d'anamorphoses (en particulier expansions ou compressions de l'échelle des fréquences), les paramètres F_c et B_p peuvent être chacun commandés automatiquement

(asservissement ou programme) et ceci de façon indépendante des réglages manuels homologues.

Le banc de filtres comporte 64 voies qui fonctionnent en parallèle ; cependant, les sorties sont interrogées séquentiellement par un commutateur électronique, échantillonnées, numérisées puis stockées dans les cellules d'une mémoire binaire. Un circuit de commande définit, à chaque instant, la valeur des paramètres F_c et B_p (fig. 1).

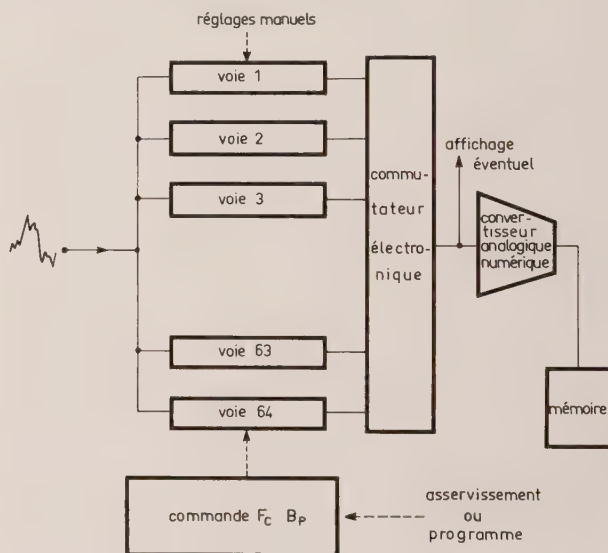
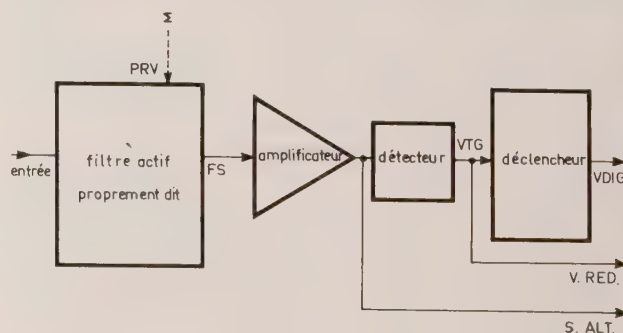


FIG. 1. — Schéma général de l'analyseur de spectres.

3. Le filtre-type

Chaque voie se compose de trois parties (fig. 2) : le filtre actif proprement dit, un amplificateur détec-



V. DIG. sortie tout ou rien V. RED. sortie redressée V. ALT. sortie alternative

FIG. 2. — Filtre type.

teur, un basculeur. Cet assemblage se répète autant de fois qu'il y a de canaux.

Le filtre actif est un circuit passe-bande à contre-réaction dérivé du montage mis au point par KERWIN et NEWCOMB et qui produit une paire de zéros réels et une paire de pôles complexes. Sa transmittance, (voir article de M. BECQUART [2] ; équation (12)) est de la forme :

$$T = \frac{\frac{-11\omega_1 K}{s + \omega_1/A_1}}{\frac{10 + 1,1 \omega_1}{s + \omega_1/A_1} + \frac{\omega_1 \omega_2}{(s + \omega_1/A_1)(s + \omega_2/A_2)}}$$

où les coefficients *F* sont calculés numériquement et où ω_1 et ω_2 sont les pulsations correspondant aux constantes de temps de liaison entre étages (fig. 3) et *s*, la fréquence complexe *jω*.

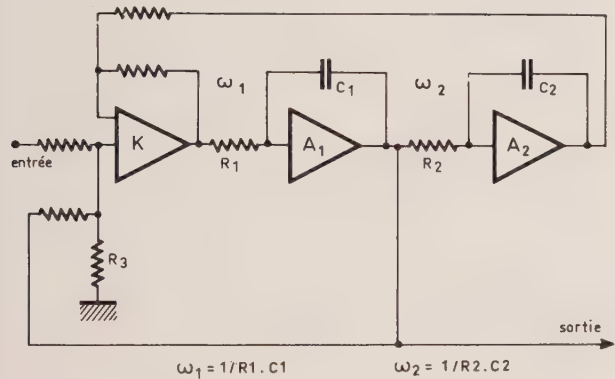


FIG. 3. — Filtre actif. $\omega_1 = 1/R_1 \cdot C_1$ $\omega_2 = 1/R_2 \cdot C_2$ *A*₁ et *A*₂ : gains en boucle ouverte des amplificateurs opérationnels (type μ A 709/SFC 2709).

En agissant sur *R*₁ ou *R*₂, on commande la fréquence centrale du filtre. *R*₃ contrôle le coefficient de surtension et par là même, la bande passante.

L'amplificateur-détecteur est de conception classique ; il procure un gain d'environ 10 et la détection des signaux alternatifs s'y fait avec un temps de montée d'environ 0,1 s (constante de temps réglable).

Le basculeur, enfin, est un trigger de SCHMITT autorisant le déclenchement à un seuil ajustable.

Pour chaque voie, trois sorties sont simultanément disponibles : une sortie alternative directe, une sortie redressée, une sortie déclenchée (binaire). Cette dernière peut commander un système d'affichage en tout ou rien ; la sortie redressée est reprise par l'échantillonneur et est mémorisée.

4. Commande des paramètres

Au niveau de chaque filtre, les paramètres *Fc*, fréquence centrale et *Bp*, bande passante sont représentés par les valeurs des résistances *R*₁, *R*₂ et *R*₃ (fig. 3)

Suivant que l'on attache ou non de l'importance à l'existence d'inertie dans le système de commande, on dispose de deux possibilités :

La première est économique mais lente ; elle confère à l'ensemble un temps de réaction de l'ordre

de 0,3 s en faisant appel à un rhéostat photoélectrique (PRV 94 Mazda par exemple).

La seconde, plus onéreuse, utilise des transistors FET et permet une modification nettement plus rapide des paramètres *Fc* et *Bp*. (gain d'un facteur 100 environ).

Dans les deux cas, *Fc* et *Bp* sont définis par des tensions issues du module de contrôle.

Les réglages manuels (un par paramètre) interviennent au niveau résistance. Un réseau résistif assure la composition des contrôles manuels et automatiques. A titre d'exemple, on montre, en figure 4, comment s'effectue la commande de *Fc* sur le prototype étudié.

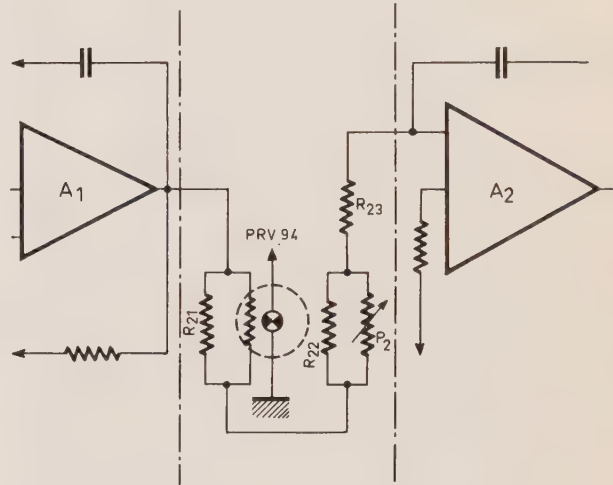


FIG. 4. — Réseau résistif de commande de *Fc*.

5. Caractéristiques du banc

Etagement : 64 filtres de 100 Hz à 6 400 Hz de 100 en 100 Hz (voir figure 5).

Bandes passantes : nominales 100 Hz, variations de 50 à 500 Hz.

Temps de réponse de la commande automatique de fréquence 10 ms (avec FET).

Déplacements : voir figure 5.

Courbes de sélectivité de chaque filtre du banc en fonction de la commande *Bp* : voir figure 7.

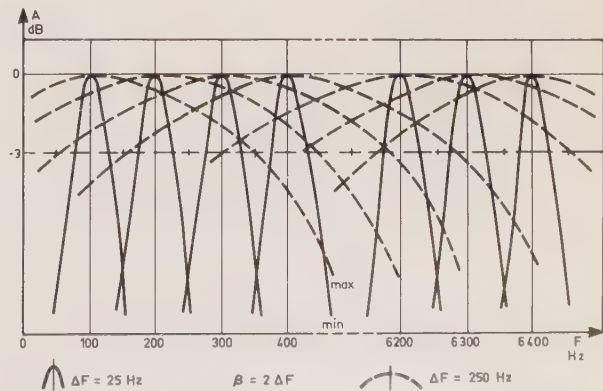


FIG. 5. — Réponse spectrale du banc.

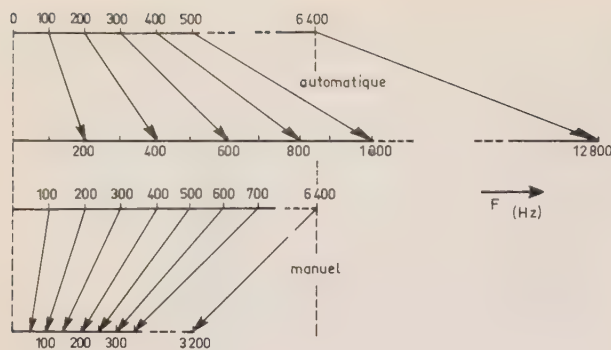


FIG. 6. — Homothéties fréquentielles dans le banc.

6. Applications

Des études sont actuellement menées avec cet appareillage afin de déterminer les conditions optimales de fonctionnement de chacun des canaux (étagement des F_c , choix des bandes passantes, constantes de temps et seuils de déclenchement).

Le circuit de commande des anamorphoses doit être étudié pour chaque application particulière envisagée. Citons seulement quelques possibilités d'utilisation : asservissement en continu des fréquences d'analyse par la fondamentale de la voix du locuteur, pré-réglage de la commande sur quelques mots-clés préalables, détection des intonations, de l'accent.

Nota : On ne parle ici que des anamorphoses fréquentielles, les anamorphoses temporelles ou rythmiques sont traitées séparément. Grâce au jeu des anamorphoses fréquentielles et temporelles, le système fournit des « formes » standardisées, aptes à être reconnues par un module corrélateur ou comparateur (par exemple, programme de reconnaissance sur calculateur).

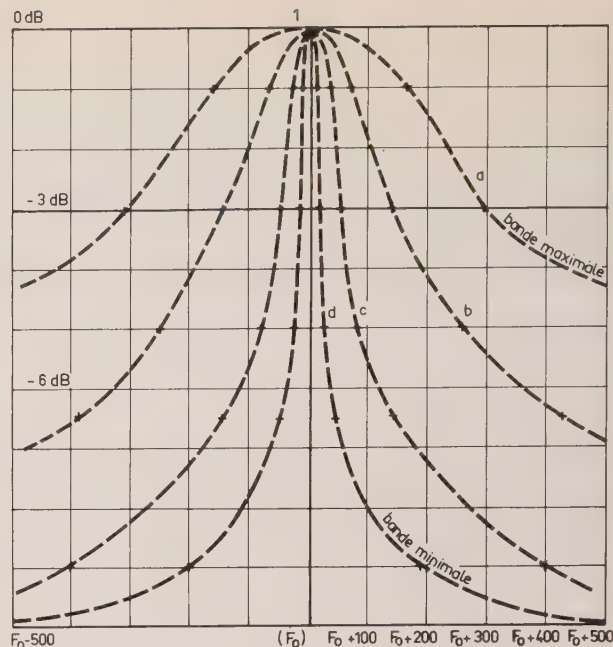


FIG. 7. — Courbes de sélectivité de chaque filtre (variations avec la position du réglage « Bande » Bp).

Bibliographie

- [1] LEIPP E. — Structure physique et contenu sémantique de la parole. *Revue d'Acoustique*, n°s 3-4.
- [2] BECQUART G. — *Onde Electrique*, vol. 50, fasc. 8, pp. 702-710.
- [3] KOHASI Y. — Reports of the 6th International Congress on Acoustics. Tokyo, vol. B-C, speech 1968.
- [4] CNET. — Colloque sur la parole. Lannion. Ed. Fac. des Sciences, Paris, 1966.
- [5] PIMONOW L. — Introduction à la Bioinformatique. Tomes 1 et 2. G.A.L.F., 1969.
- [6] MARCOUX M.G. — Thèse de Docteur-Ingénieur. Fac. des Sciences, Paris, juin 1971.

Guy Michel MARCOUX, né en 1947, Ing. radio ESE, Docteur-Ingénieur, Laboratoire Central de Recherches de Thomson-CSF, service DR 5, Corbeville, 91-Orsay. Tél. 907.77.33 poste 689.

Visualisation des ondes électromagnétiques hyperfréquence à l'aide des cristaux liquides

J. PUYHAUBERT



Ingenieur à la Société LTT

Résumé

Après avoir rapidement passé en revue les divers procédés de visualisation thermographique actuellement utilisés, l'auteur montre les possibilités offertes par la mise en œuvre des « Cristaux liquides cholestériques » pour visualiser les champs électromagnétiques hyperfréquence.

La validité de ce nouvel outil est démontrée par un rapprochement des résultats de mesure relative de la valeur de l'intensité des champs hyperfréquence obtenue par l'exploitation de la visualisation colorée et des résultats théoriques calculés dans le cas d'une structure simple.

Quelques applications sont décrites et en plus de l'intérêt expérimental cette méthode apporte une contribution pédagogique notable pour l'étude des différentes structures en permettant de visualiser les phénomènes hyperfréquence dans des dispositifs de géométrie complexe.

Introduction

Nous présentons ici une utilisation particulièrement intéressante des cristaux liquides ; ces substances mésomorphes permettent de visualiser par effet thermique la répartition d'une énergie électromagnétique.

Des renseignements importants ont été obtenus par ce procédé sur le fonctionnement de dispositifs hyperfréquence de différentes structures : guides d'ondes, microbandes, lignes à fentes, circuits non réciproques à ondes de surfaces, etc.

Nous pensons qu'elle a permis de mettre au point un outil précieux pour faire progresser la théorie des phénomènes fort complexes qui se produisent souvent dans un dispositif ayant une géométrie ne présentant pas de symétrie.

Par un biais expérimental simple à mettre en œuvre, il a été possible de comprendre ces phénomènes qui font l'objet d'études théoriques longues (résolution des équations de Maxwell et conditions aux limites) et délicates en raison des difficultés de caractériser les matériaux mis en œuvre dans les dispositifs hyperfréquence : ferrites, diélectriques, absorbants, etc.

Généralités sur les méthodes de visualisation thermographique

Dans le domaine hyperfréquence, la visualisation simple des champs électromagnétiques est obtenue par transformation de l'énergie hyperfréquence en

énergie thermique, il reste ensuite à visualiser cette énergie thermique à l'aide d'un mélange de cristaux liquides adapté aux niveaux respectifs de l'énergie de l'onde hyperfréquence ; ces cristaux liquides sont mis en œuvre sur des supports adéquats.

Cette méthode est particulièrement simple à mettre en œuvre, et fidèle dans le cas d'une répartition électromagnétique de surface.

Si l'on désire mesurer des températures de surface à l'aide de méthodes classiques, on se heurte rapidement à de grandes difficultés : il faut, d'une part, assurer une liaison thermique aussi étroite que possible entre l'élément de mesure et la surface à mesurer, d'autre part, éviter de perturber la répartition à mesurer en déformant le champ électromagnétique.

Etant données les difficultés de positionnement et de mises en œuvre des thermomètres, thermocouples, thermistances ou autres, les résultats de mesure sont critiquables et peu fiables dans ce cas.

Parmi ces procédés, nous pouvons citer sans chercher à être exhaustif :

La méthode des couleurs

Sous l'effet d'une excitation ultraviolette, le spectre de fluorescence de diverses substances (comme l'anthracène) évolue en fonction de la température.

Le rapport de deux intensités lumineuses correspondant à deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 , situées de part et d'autre du maximum d'émission, permet de calculer la température de la substance, d'où celle de la surface sur laquelle elle est disposée. Cette méthode est applicable entre 0 et 200 °C, avec une précision de 2 °C.

Evapométrie

Son principe est basé sur l'évaporation sélective d'un film d'huile déposé sur une membrane sur laquelle une image infra-rouge est projetée. La mise en œuvre de cette technique est délicate et son emploi est peu généralisé.

Phosphorographie

Les substances phosphorescentes sont des diélectriques capables de convertir l'énergie en radiations visibles, qu'il s'agisse de substances cathodoluminescentes, photoluminescentes ou électroluminescentes. On peut ainsi déterminer une température allant de 0 °C à 400 °C avec une précision de 2 à 4 °C.

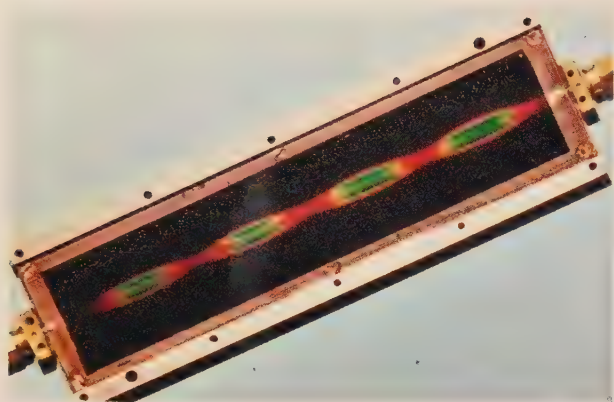


FIG. 1. — Visualisation de l'onde électromagnétique à la surface d'une ligne microbande.

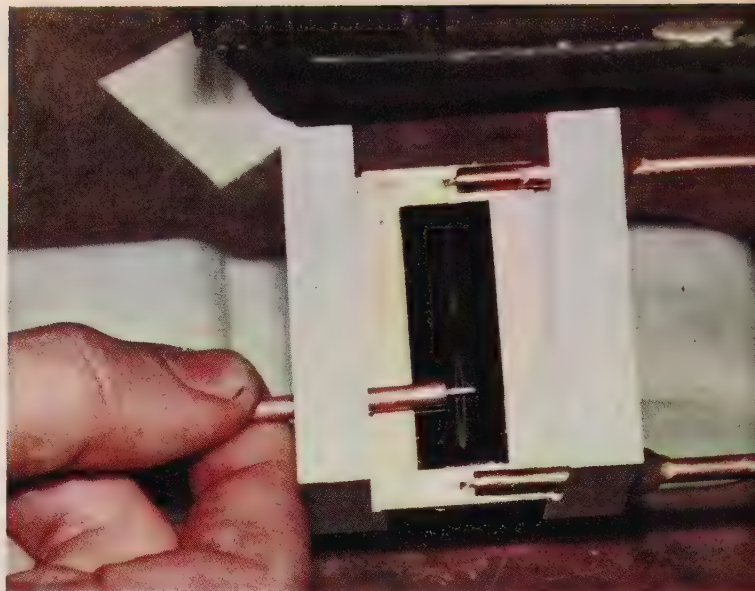
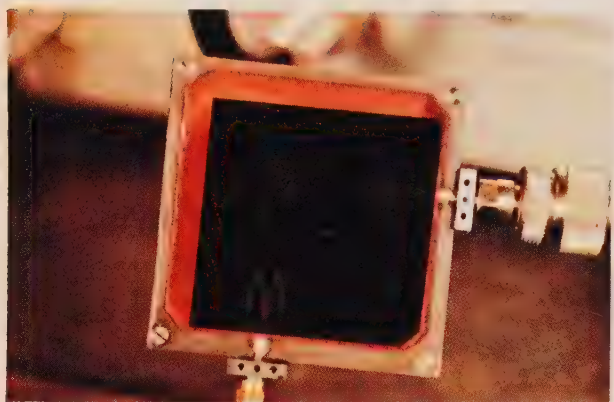
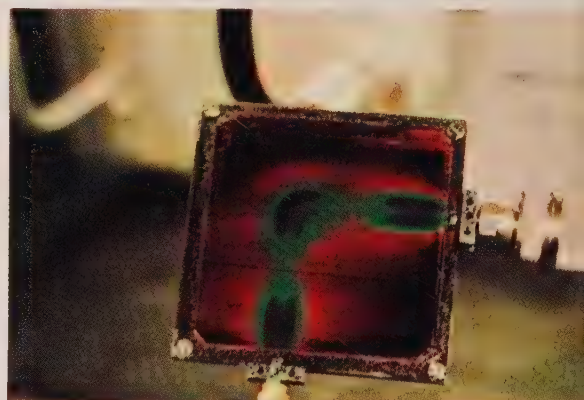


FIG. 3. — Etude d'une structure ligne à fente « slot-line ».



2 a : coude rectangulaire



2 b : coude corrigé

FIG. 2. — Visualisation de l'onde électromagnétique dans une structure coudée en microélectronique.

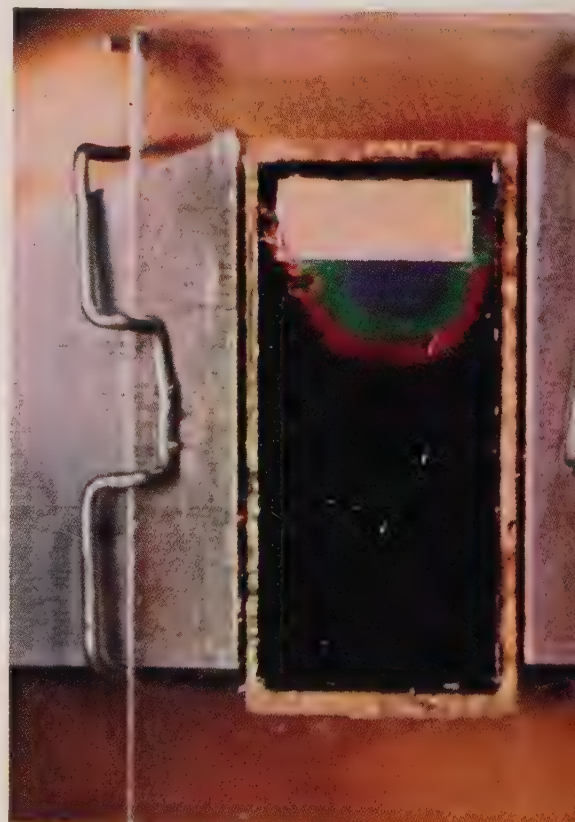


FIG. 4. — Vérification du fonctionnement d'un isolateur hyperfréquence à ferrites à déplacement de champ.

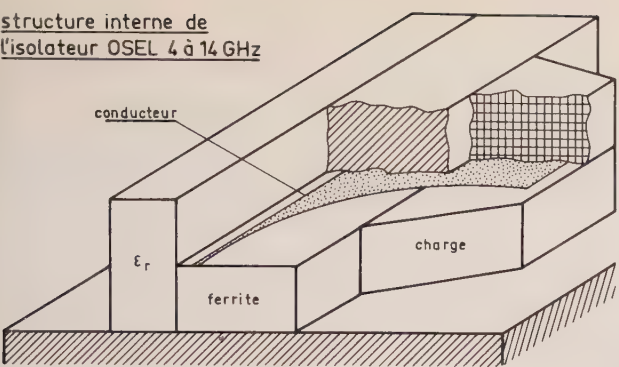
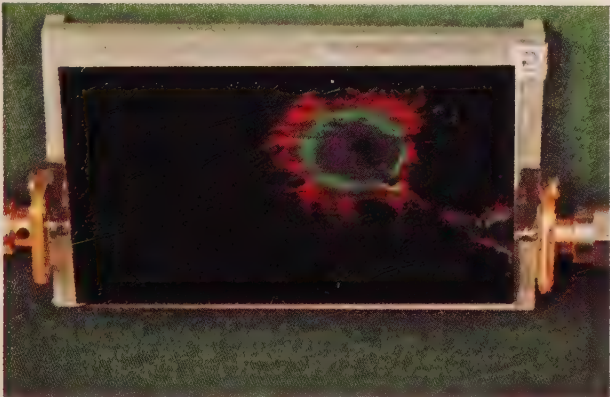
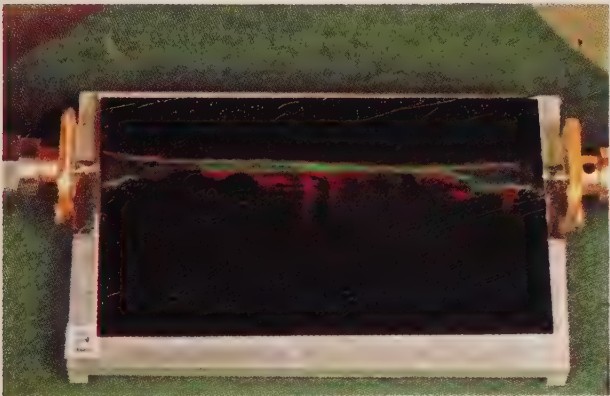


FIG. 5. — Structure d'un isolateur à onde de surface électromagnétique.



a) Visualisation de l'isolateur sens direct (énergie localisée dans le diélectrique) ;



b) sens inverse (énergie réfléchie absorbée par la charge) ;

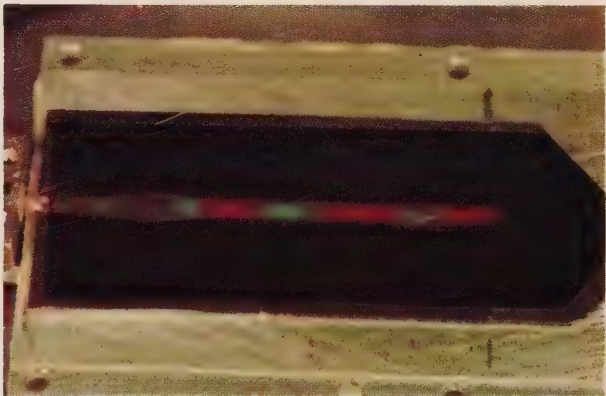


c) sens inverse (la charge est supprimée, l'énergie est guidée et rayonnée).

FIG. 6



a : concerne la visualisation de la composante magnétique



b : concerne la visualisation de la composante électrique.

FIG. 7. — Tentative de visualisation séparée d'un champ magnétique et d'un champ électrique sur une même structure terminée sur un court-circuit dont la position est restée fixe durant les deux visualisations :

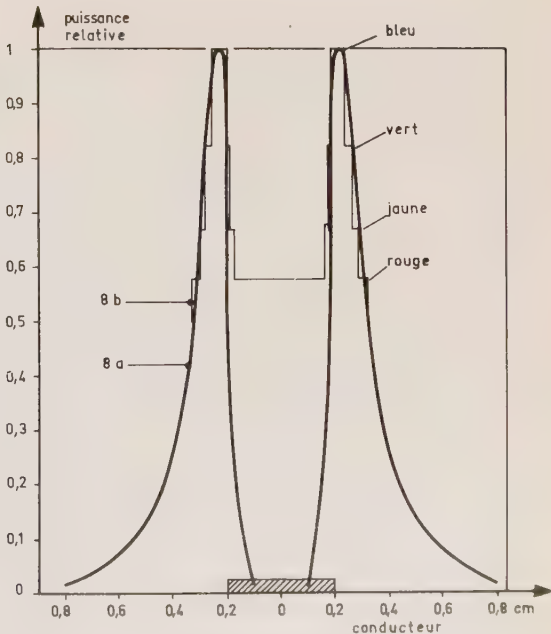


FIG. 8.

Toute surface émet un rayonnement caractérisé par une certaine distribution spectrale et, pour une longueur d'onde donnée, l'énergie de ce rayonnement dépend de la température et du facteur d'émission de cette surface.

Il est donc possible d'obtenir une représentation de la distribution des températures d'un corps par l'intermédiaire d'un thermographe transformant l'énergie infra-rouge rayonnée en énergie électrique, exploitable par divers procédés de visualisation.

La sensibilité de cette méthode est de l'ordre de 0,1 °C, mais des précautions d'emploi sévères sont impératives.

Le procédé qui a fait principalement l'objet des études qui sont relatées dans cet article concerne :

Les cristaux liquides

Soumis à une excitation lumineuse ils ont la propriété de réfléchir certaines couleurs dépendant étroitement de la température.

Les cristaux liquides possèdent une forte biréfringence comparable à celle des corps cristallisés.

Le rapprochement de l'anisotropie cristalline et de la fluidité de la préparation leur a donné l'appellation de « cristaux liquides ».

Parmi ces substances mésomorphes, on distingue trois grandes classes :

- Les corps smectiques (troubles, visqueux, rappelant certaines propriétés des savons).
- Les corps nématiques (troubles, mais fluides, rappelant l'aspect de fils immergés dans un liquide).
- Les corps cholestériques qui ont été utilisés dans cette étude, c'est un état particulier de l'état nématique, mais aux propriétés très caractéristiques et très différentes des états nématiques et smectiques.

La plupart de ces corps sont des esthers de cholestérol (acétate, benzoate...) d'où ils tirent leur nom.

La propriété primordiale de ces substances cholestériques est qu'à une température donnée, sous certaines conditions, un corps ou un mélange déterminé de ces substances réfléchira toujours un rayonnement de même longueur d'onde, donc de même coloration. On peut obtenir, en mélangeant plusieurs substances cholestériques, un grand choix de combinaisons de « températures-couleurs ».

Les caractéristiques de ces combinaisons peuvent varier très largement aussi bien pour le niveau que pour la sensibilité.

Mise en œuvre des cristaux liquides pour la visualisation de l'énergie électromagnétique

Des plaquettes tests sensibles soit au champ électrique, soit au champ magnétique, soit à l'ensemble du champ électromagnétique ont été mises au point par LTT.

Ces substrats sont choisis pour :

- perturber le moins possible le phénomène à étudier ;
- présenter une inertie thermique faible ;
- avoir un bon couplage avec le circuit hyperfréquence et un isolement thermique correct.

S'il s'agit de visualiser le champ électrique les plaquettes sont réalisées avec un matériau présentant des pertes diélectriques élevées et peu sensibles au champ magnétique ($\text{tg } \delta_R > 10^{-2}$; $\text{tg } \delta_M < 10^{-4}$ par exemple).

S'il s'agit de visualiser le champ magnétique, le matériau aura des caractéristiques opposées :

$$(\text{tg } \delta_R < 10^{-3}, \text{tg } \delta_M > 10^{-2})$$

Exemples d'application de la méthode de visualisation

Nous avons déjà signalé l'intérêt pratique et l'aide apportée à la théorie que constitue ce moyen de visualiser l'énergie électromagnétique ; à titre d'illustration, nous donnons ci-après quelques exemples non restrictifs de l'application de la méthode des cristaux liquides (fig. 1).

Figure 1: Visualisation de l'onde électromagnétique à la surface d'une ligne microbande.

La valeur de la puissance est fonction de la longueur d'onde de la couleur, du rouge au bleu pour des valeurs croissantes de la puissance.

D'une telle photographie, nous pouvons déduire avec précision la longueur d'onde de phase par la mesure de l'espacement de un ou plusieurs ventres (erreur < 0,5 %).

Nous voyons également que la puissance passe par un minimum dans l'axe de la ligne microbande (largeur de 4 mm environ).

Cette expérimentation a servi pour l'établissement des courbes comparées de la puissance calculée (par CAO (1)) sur une ligne de cette géométrie et de la puissance relative relevée sur le diagramme coloré, visualisé après étalonnage très précis des températures correspondant aux couleurs observées (ceci fait l'objet du paragraphe figure 8 de cet article).

Figure 2: Visualisation de l'onde électromagnétique dans une structure coudée en microélectronique.

On notera que la déformation de l'onde électromagnétique est importante dans la zone du coude.

Figure 3: Etude d'une structure ligne à fente « slot-line ».

La visualisation valide la méthode de la sonde sur ce type de ligne, les mesures de TOS permettront de déterminer si un court-circuit effectué sur la ligne est valable ; la méthode permet de vérifier le mode de couplage d'entrée et de sortie de la ligne.

Figure 4: Vérification du fonctionnement d'un isolateur hyperfréquence à ferrites à déplacement de champ.

(1) Conception Assistée par Ordinateur.

Un substrat recouvert de cristaux liquides a été disposé sur la section d'un guide d'onde contenant un ferrite hyperfréquence, le tout étant placé entre les faces polaires d'un électro-aimant.

Le système étant excité par une onde hyperfréquence (5,5 GHz), la visualisation de la section de guide permet de constater le déplacement de champ lorsque la polarisation magnétique du ferrite est appliquée dans un sens ou dans un autre (4 a : sens direct ; 4 b : sens inverse).

Figure 5 : Structure d'un isolateur à onde de surface électromagnétique.

Figure 6 :

- a) Visualisation de l'isolateur sens direct (énergie localisée dans le diélectrique) ;
- b) sens inverse (énergie réfléchie absorbée par la charge) ;
- c) sens inverse (la charge est supprimée, l'énergie est guidée et rayonnée).

Figure 7 : Tentative de visualisation séparée d'un champ magnétique et d'un champ électrique sur une même structure terminée sur un court-circuit dont la position est restée fixe durant les deux visualisations :

- a : concerne la visualisation de la composante magnétique,
- b : concerne la visualisation de la composante électrique.

Comparaison de la courbe calculée de la puissance développée dans une ligne et de la courbe expérimentale déduite de la visualisation par la méthode des cristaux liquides

Une méthode de calcul assistée par ordinateur a été mise en œuvre pour établir la puissance dissipée dans une ligne microbande de géométrie donnée, en différents points qui correspondent à la zone géométrique qui est l'objet d'une observation directe par un substrat recouvert de cristaux liquides..

On a obtenu donc par le calcul une multiplicité de points qui ont permis d'établir la courbe figure 8 a.

D'autre part, il a été effectué un étalonnage de la puissance mise en jeu en fonction de la température repérée par la couleur d'un spectre visualisé ; on a donc pu exploiter la visualisation de la ligne microbande choisie pour cet essai pour établir la courbe 8 b, qui correspond à la courbe de puissance relative relevée au niveau du substrat.

Couleur observée	Valeur relative de puissance	Θ en °C
Rouge	0,59	31,3
Jaune	0,687	32
Vert	0,84	32,8
Bleu	1	34

On notera que si le parallélisme des courbes théorique et expérimentale est remarquable dans les zones extérieures au strip, on constate que la courbe visualisée témoigne d'une énergie non nulle sur le strip, ceci est vrai car il y a à cet endroit un apport de puissance dû à l'effet joule dans ce conducteur qui affecte les cristaux liquides par rayonnement.

On a vérifié d'ailleurs qu'à la mise en route, le strip froid ne rayonne pas d'énergie, le spectre visualisé au démarrage n'est pas coloré dans la zone du strip.

Conclusions

Cette méthode de visualisation est valable et présente en outre l'intérêt d'être utilisée à l'aide de puissance hyperfréquence faible. De plus :

— La figuration des champs développés est très instructive et fournit un moyen instantané, concret de représenter des champs. La mesure relative de la valeur des champs est possible, le parallélisme entre des résultats théoriques et les résultats déduits de la méthode de visualisation a été vérifié en hyperfréquence sur différentes structures.

— La méthode est simple à mettre en œuvre quand le produit et son support sont correctement élaborés.

— Cette méthode est valable dans des cas de structures complexes.

— Les applications que nous avons citées ne sont pas limitatives, nous étendons dans nos laboratoires les domaines d'exploitation de ce procédé qui présente certainement en plus un grand intérêt pédagogique pour la formation des techniciens et ingénieurs.

Cet article a été fait en collaboration avec l'Ingénieur Principal BERGER, de la DRME.

Cette étude a été réalisée par la Société LTT, dans les Laboratoires de magnétisme et hyperfréquence de M. CHIRON, au titre d'un contrat DRME.

Nous tenons à remercier M. MAUGARD, Docteur Ingénieur, de sa participation.

Bibliographie

DE VECCHIS M., Ingénieur ENST. — Etude des lignes de transmission à micro-rubans. Détermination de leurs paramètres électriques avec l'aide d'un ordinateur. *Bulletin techniques SOTELEC*, avril 1972, p. 35.

MAGNE M. — Etude de la réflexion optique des cristaux liquides cholestériques. Thèse de Docteur-Ingénieur, Lyon 1969.

J. PUYAUBERT, né en 1926, Ingénieur CNAM 1959, Directeur des Services Techniques de la Radiodiffusion Nationale du Sénégal. Expert Radiodiffusion au Burundi, Ingénieur au Laboratoire Hyperfréquence à LTT, 78-Conflans-Sainte-Honorine.



La Radiotechnique-Compelec

Photocoupleurs à semiconducteurs

Résumé

Les photocoupleurs à semiconducteurs tendent à trouver des applications de plus en plus nombreuses. Les auteurs décrivent les techniques utilisées dans leur élaboration et leur influence sur les performances et la fiabilité. Les photocoupleurs pourront dans l'avenir remplir des fonctions encore plus diversifiées, dont la multiplication nécessitera une étroite collaboration entre les utilisateurs et les fabricants.

Introduction

Les photocoupleurs quadripôles, constitués par l'association d'une diode électroluminescente et d'un photorécepteur, constituent des dispositifs optoélectroniques par excellence puisqu'ils utilisent la lumière comme véhicule d'information et comme moyen d'isolement électrique. Ils forment toute une famille de dispositifs dont les caractéristiques varient en fonction du choix de l'émetteur, du récepteur et du moyen de couplage optique. En particulier le photorécepteur peut être une photorésistance, une photodiode, un phototransistor, un photothyristor ou un circuit plus complexe. L'un de ces dispositifs s'est particulièrement développé : le coupleur à phototransistor. Nous analyserons dans le détail sa conception et ses caractéristiques puis nous tenterons de dégager les perspectives actuelles des photocoupleurs.

Dans la plupart des cas, le photorécepteur est réalisé dans un cristal de silicium. L'émetteur de lumière est alors en arséniure de gallium car c'est pour le spectre d'émission de ce matériau que les dispositifs au silicium présentent un maximum de sensibilité.

Les mécanismes d'électroluminescence dans une jonction p-n ne sont pas analysés ici, on pourra se reporter à la référence [1].

1. Caractéristiques de l'émetteur de lumière

On dispose à l'heure actuelle de deux types de diodes électroluminescentes à l'arséniure de gallium : les jonctions obtenues par épitaxie liquide et dosage au silicium amphotère ; les diodes obtenues par diffusion d'impuretés, en général selon un procédé « planar ».

Le comportement amphotère du silicium au cours d'une croissance épitaxiale d'arséniure de gallium, en solution, conduit à des jonctions présentant des propriétés spécifiques. Le silicium, de valence 4, est un donneur lorsqu'il se substitue au gallium, de valence 3, et un accepteur en substitution à l'arsenic, de valence 5. En cours de croissance épitaxiale en solution de gallium dopée au silicium, cette impureté peut s'introduire en substitution des atomes de gallium aussi bien que d'arsenic, en fonction de la composition et de la température de la solution. Avec un choix convenable de la concentration de silicium dans la solution et de la gamme de température de croissance, on obtient tout d'abord un dopage de type n, tendant ensuite vers le type p. Les jonctions p-n ainsi obtenues sont fortement dopées et possèdent un profil de concentration très graduel. En conséquence, elles présentent les propriétés spécifiques suivantes : par rapport au seuil d'absorption intrinsèque, le spectre d'émission est déplacé vers les grandes longueurs d'onde (930 nm par rapport à 880 nm) ; l'absorption de lumière à l'intérieur du cristal en est considérablement réduite, ce qui se traduit par deux faits : le cristal étant relativement transparent à son propre rayonnement, la surface émissive n'est pas définie ; l'efficacité quantique externe, c'est-à-dire le nombre de photons émis par électron injecté est relativement élevé : 2 à 6 % (ce qui correspond à 30 à 90 mW lumineux par A injecté) ; le temps de réponse est de l'ordre de 100 ns.

La diffusion d'impuretés a été appliquée aux composés III-V bien avant l'épitaxie liquide et bien que le choix des diffusants envisageables soit extrêmement réduit. En effet, la nécessité de ne pas décomposer et de ne pas dégrader le matériau interdit l'utilisation de températures élevées et d'atmosphères non contrôlées. Le zinc, impureté acceptrice, est utilisé de façon industrielle en technique « planar ». Celle-ci est illustrée par la figure 1. Elle consiste à déposer initialement une couche de dioxyde ou de nitrure de silicium, imperméable à la diffusion de zinc, sur les plaques d'arséniure de gallium de type n, puis à ouvrir des fenêtres dans le diélectrique par photogravure. La diffusion de zinc, à travers les ouvertures, conduit à des jonctions localisées plus ou moins abruptes et qui présentent les caractéristiques suivantes : spectre d'émission proche du seuil d'absorption intrinsèque (880 nm) ; émission localisée, l'étendue de la source se limite à la région où se produisent les recombinaisons radiatives puisque le cristal est relativement opaque à son propre rayonnement ;

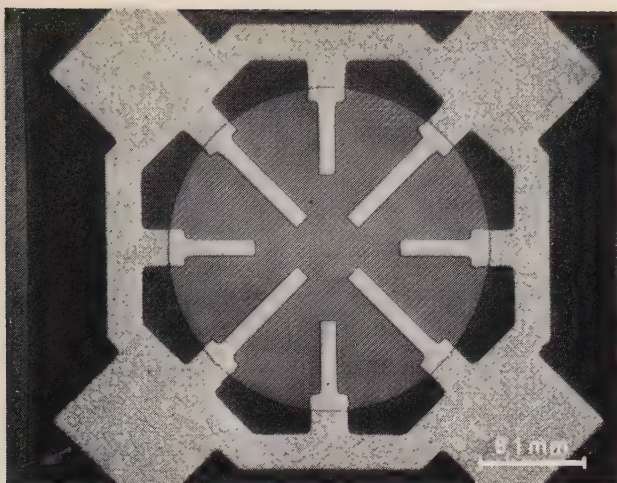


FIG. 1. — Diode électroluminescente élaborée par la technologie plane passivée.

l'efficacité quantique externe est relativement faible, pour la même raison : 0,3 à 1 % (5 à 15 mW/A).

La majorité des photocoupleurs actuellement commercialisés utilisent une jonction électroluminescente fabriquée par diffusion, pour des raisons techniques et industrielles. Raisons techniques : il est favorable de disposer d'une source de lumière de faible étendue pour l'associer à un photorécepteur situé en regard ; raisons industrielles : le procédé de diffusion plane a atteint un stade de développement, de qualité et de reproductibilité qui permet la fabrication en grandes séries, alors que le procédé d'épithaxie liquide n'a pas encore véritablement quitté les laboratoires de développement. Cependant le tableau 1 met en évidence l'intérêt de ce dernier.

TABEAU I

Propriétés des diodes électroluminescentes obtenues par diffusion de zinc et par épithaxie en phase liquide

Technologie	Zone émissive	Puissance lumineuse (mW/A)	Longueur d'onde (nm)	Temps de commutation
Diffusion	Réglable (jonction localisée)	8-15	880	3-20 ns
Épithaxie liquide	Égale à la surface du cristal	30-90	930	0,1-0,5 μ s

La caractéristique fondamentale d'un émetteur de lumière est la caractéristique puissance lumineuse émise - courant injecté, schématisée en coordonnées logarithmiques (fig. 2). L'asymptote définit une efficacité P/I à haut niveau. A bas niveau, la caractéristique s'écarte de la loi linéaire. Cela signifie, pour l'utilisateur qui injecte un courant I_1 dans la jonction, que la composante $I_1 - I_2$ est non radiative. Cette caractéristique, ainsi que son évolution dans le temps seront analysées en détail chapitres 3 et 4. Retenons pour l'instant que la non linéarité de la caractéristique est tout à fait acceptable.

2. Caractéristiques du photorécepteur

Quelle que soit la nature du photorécepteur (photodiode, phototransistor, photorésistance etc.), celui-

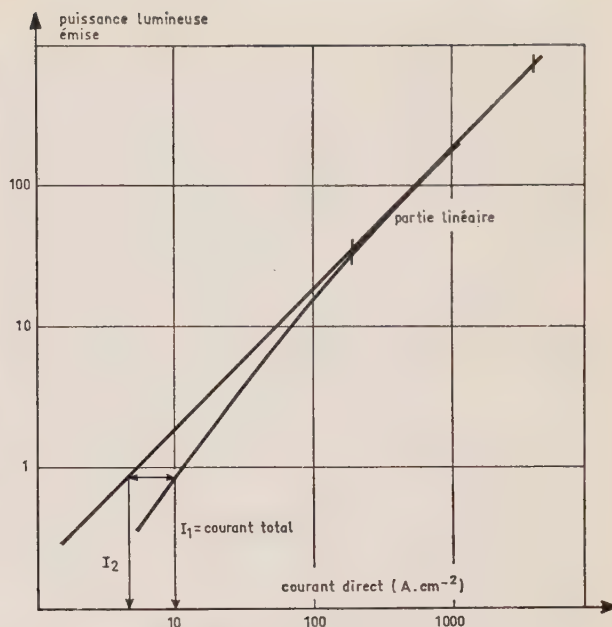


FIG. 2. — Caractéristique puissance émise-courant injecté d'une diode électroluminescente.

ci est caractérisé vis-à-vis du rayonnement incident par l'étendue de la région photosensible active, l'efficacité quantique de génération de porteurs de charge, les coefficients de collection et d'amplification. Le mécanisme primaire mis en jeu dans un photorécepteur est l'effet photoélectrique : les photons incidents dont l'énergie est supérieure ou égale à la largeur de la bande interdite du semiconducteur libèrent une paire électron-trou. Pour une énergie, c'est-à-dire une longueur d'onde, donnée, le taux de génération de porteurs décroît exponentiellement à partir de la surface vers le cœur du cristal. En d'autres termes, l'absorption suit une loi exponentielle et conduit à la définition d'un coefficient et d'une profondeur d'absorption. Celle-ci est définie comme étant la profondeur à laquelle l'intensité lumineuse incidente est réduite dans un rapport e . L'étendue de la région active d'un photorécepteur, c'est-à-dire de la région où l'on utilise les porteurs de charge générés pour constituer le courant ou la tension électrique, est en général limitée. Dans une photodiode rapide, c'est l'étendue de la région de charge d'espace, où les porteurs sont rapidement collectés par le champ électrique intense. Dans un phototransistor (fig. 3) où l'on utilise la génération photoélectrique pour moduler le potentiel de la base, c'est en gros l'étendue de

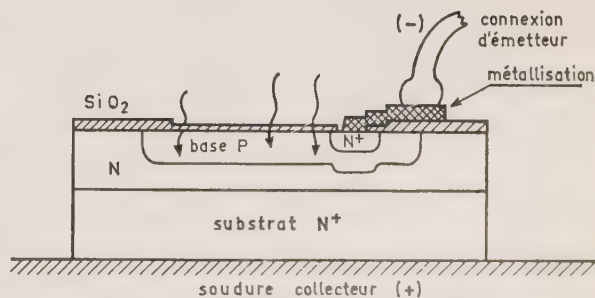


FIG. 3. — Phototransistor (épithaxial).

la base. Il va de soi que pour obtenir la meilleure efficacité, l'étendue de la région active doit correspondre à la profondeur de pénétration du rayonnement. Dans ce cas l'efficacité quantique, c'est-à-dire le nombre de paires électron-trou générées dans la zone active par photon incident, est couramment de l'ordre de 50 à 70 %. Le coefficient d'amplification n'est autre que le gain du transistor défini par le rapport de la longueur de diffusion des porteurs minoritaires L à l'épaisseur de base W .

Par conséquent la valeur du courant collecteur (c'est-à-dire du courant de sortie dans le cas du coupleur) est le produit du courant généré dans la base, dont nous supposons le potentiel flottant, par le gain du transistor au niveau du courant considéré. Le photocourant de base est de l'ordre de 0,3 ampère par watt lumineux incident (pour une efficacité quantique de l'ordre de 50 %); le gain est en général de plusieurs centaines en mode de fonctionnement émetteur commun, si bien que le courant dans le collecteur ou l'émetteur est de l'ordre de 100 μA par microwatt incident sur la base.

Une caractéristique du phototransistor très importante est sa tension de saturation. Celle-ci est limitée à une valeur de 0,2 à 0,4 V par les méthodes habituelles de réduction de la résistance série du collecteur à l'aide d'une diffusion face arrière ou, le plus souvent, d'une structure épitaxiale.

3. Conception du photocoupleur

A l'aide de l'exemple du coupleur diode électroluminescente-phototransistor, nous allons voir comment on peut définir un photocoupleur.

Les caractéristiques fondamentales pour l'utilisateur sont les caractéristiques d'isolement et de transfert électroniques. La tension d'isolement, la résistance et la capacité du couplage entre entrée et sortie dépendent d'une part de la rigidité et de la constante diélectriques du matériau de couplage optique et de l'encapsulation, d'autre part de la géométrie : distance entre cristaux, surfaces en regard. Le rendement de transfert dépend de l'indice de réfraction du matériau de couplage et de l'angle solide défini par les surfaces émissives et réceptrices. Par consé-

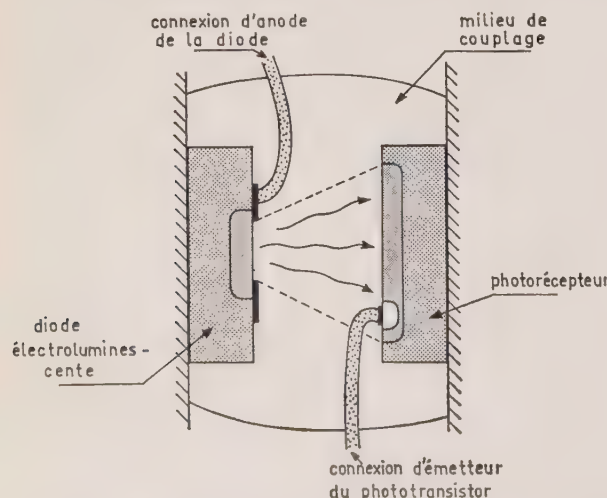


FIG. 4. — Structure d'un photocoupleur à diode diffusée et phototransistor.

quent tous les autres paramètres égaux par ailleurs, de valeur de la distance séparant les cristaux constitue un compromis entre l'isolement et le transfert.

La structure du photocoupleur est schématisée figure 4. Le matériau de couplage est une résine plastique transparente sélectionnée en fonction de ses propriétés électriques et optiques mais également de ses propriétés mécaniques et climatiques. La figure 5 montre que des cycles thermiques effectués entre -55 et $+110$ $^{\circ}\text{C}$ ne présentent pas de caractéristique d'hystérésis. Le photocoupleur retrouve, à l'issue d'un tel cycle, ses caractéristiques de départ.

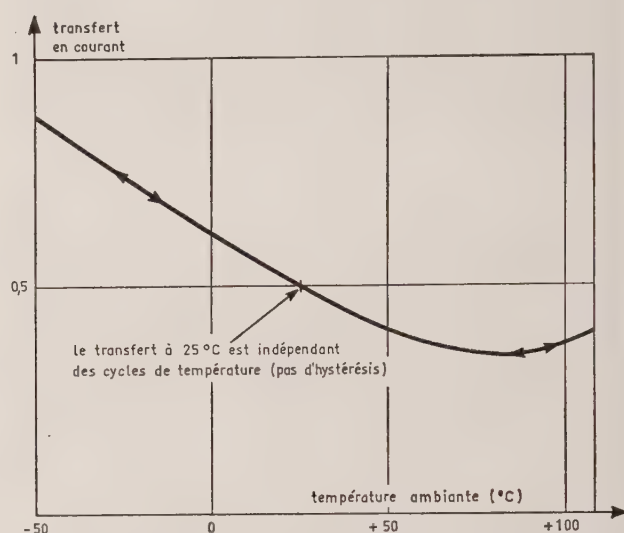


FIG. 5. — Variations du transfert en courant au cours de cycles thermiques $25^{\circ}\text{C} \rightarrow 110^{\circ}\text{C} \rightarrow -55^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$.

Le rendement de transfert en courant du coupleur est proportionnel d'une part à l'efficacité d'émission de la diode électroluminescente, d'autre part à la sensibilité du phototransistor. Un transfert de valeur élevée étant la propriété la plus difficile à atteindre, on fait appel d'une part à des diodes électroluminescentes d'efficacité élevée, d'autre part à des phototransistors de gain élevé. Dans ces conditions, l'écartement minimal entre les cristaux étant imposé par la valeur des paramètres d'isolement, le transfert dépend de l'angle solide constitué par les surfaces émettrices et réceptrices. La variation du transfert avec la géométrie est illustrée par la figure 6.

S'il est favorable, du point de vue du transfert, d'utiliser de faibles surfaces de jonction électroluminescente, on est cependant limité par des considérations de durée de vie du dispositif. En effet les diodes électroluminescentes subissent un phénomène de vieillissement, comme tout dispositif électronique, avec cette différence toutefois que le mécanisme de dégradation est directement traduit par une réduction de la puissance lumineuse émise. Ceci est un inconvénient pour l'utilisateur si l'amplitude ou la cinétique de dégradation sont excessives c'est-à-dire si le dispositif est mal défini. Par contre au stade de la conception du dispositif, cela permet d'étudier l'importance de la dégradation en fonction des conditions de fonctionnement et par conséquent de définir les conditions compatibles avec une grande durée de vie du dispositif. La figure 7 représente l'évolution de la caractéristique de puissance lumineuse

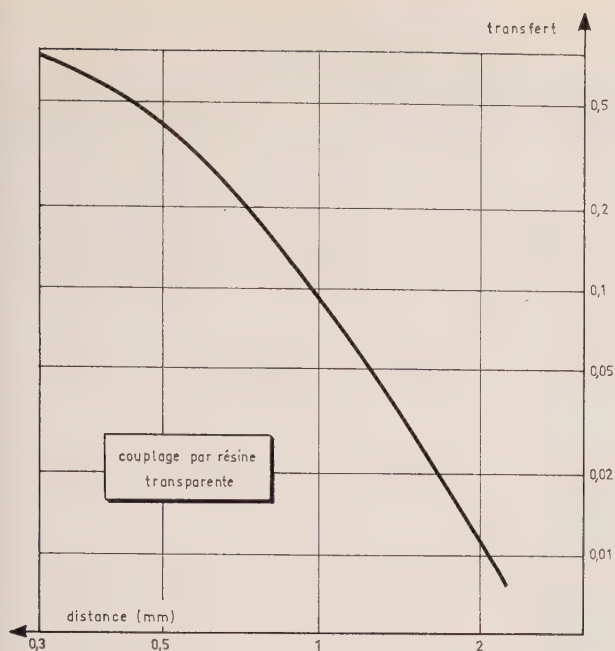


FIG. 6. — Variations du transfert d'un photocoupleur en fonction de la distance entre émetteur et récepteur.

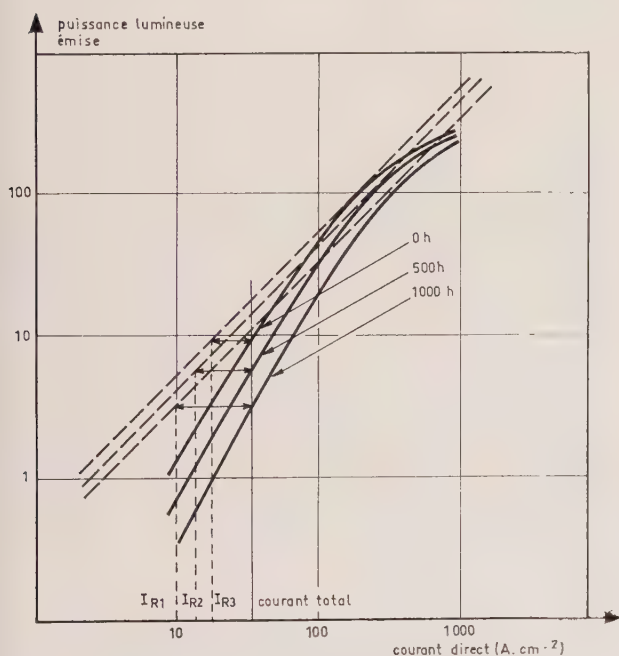


FIG. 7. — Variations de la caractéristique puissance-courant pour une diode électroluminescente en vieillissement accéléré.

émise - courant injecté dans la diode électroluminescente. On observe une diminution de l'efficacité quantique à haut niveau, et surtout un accroissement de la composante de courant non radiative. Nous avons étudié ce mécanisme avec la méthode suivante. Le courant de contrainte permanent appliqué à la diode est égal à la valeur maximale que peut nécessiter l'utilisation. L'analyse de la dégradation est effectuée au niveau de courant le plus faible qu'on peut rencontrer dans l'utilisation. L'analyse de la réduction de puissance émise et de l'accroissement de la composante de courant non radiatif, effectuée à bas niveau de courant est la seule méthode qui soit sensible, qui tienne compte des conditions d'utilisation les plus défavorables, qui permette d'extra-

poler des observations limitées à quelques milliers d'heures. Il n'est pas correct d'extrapoler les observations effectuées pour un courant de mesure égal au courant de contrainte, ce qui se trouve être malheureusement le procédé le plus répandu. Dans les conditions décrites ci-dessus, nous déterminons le domaine de densité de courant - température de jonction compatible avec la durée de vie désirée. Sur la base de ces résultats et tenant compte des conditions de courant de l'utilisation, on détermine la valeur de la surface de jonction électroluminescente.

4. Caractéristiques des coupleurs à phototransistors

Ce type de photocoupleurs est dans de nombreux cas utilisé en interface entre circuits logiques DTL ou TTL. Pour cette raison, nous les avons définis pour travailler sous un courant d'entrée inférieur ou égal à 16 mA et, dans ces conditions délivrer un courant de sortie supérieur à 1,6 mA sous une tension inférieure à 0,4 V, ces caractéristiques devant être conservées jusqu'en fin de vie dans toute la gamme de température d'utilisation. L'utilisateur a le choix entre deux types d'encapsulation, l'embase métallique étanche et l'enrobage plastique DIP (fig. 8), qui présentent des caractéristiques électriques assez voisines.

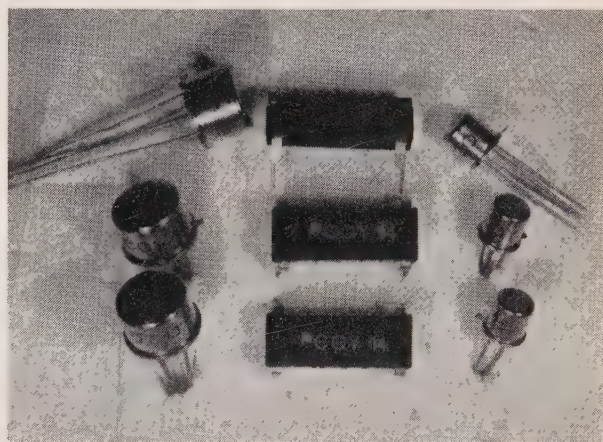


FIG. 8. — Photocoupleurs en boîtier métallique et en enrobage plastique.

La valeur typique du transfert en courant des photocoupleurs utilisant des diodes électroluminescentes diffusées est de 50 %. La figure 9 représente la caractéristique typique de sortie pour différentes valeurs du courant d'entrée. L'utilisation de diodes électroluminescentes épitaxiales dopées au silicium amphotère peut permettre de tripler le transfert, c'est-à-dire de dépasser l'unité.

Le tableau II résume les principales caractéristiques. Notons qu'il est possible d'obtenir des temps de réponse plus rapides que quelques microsecondes, au détriment du transfert. Par exemple le remplacement du phototransistor par une photodiode conduit à des temps de l'ordre de 10 ns, mais à des transferts de quelques 10^{-3} . Dans tous les cas la valeur du courant de sortie pour un courant d'entrée nul est très inférieure à la valeur du courant de sortie trans-

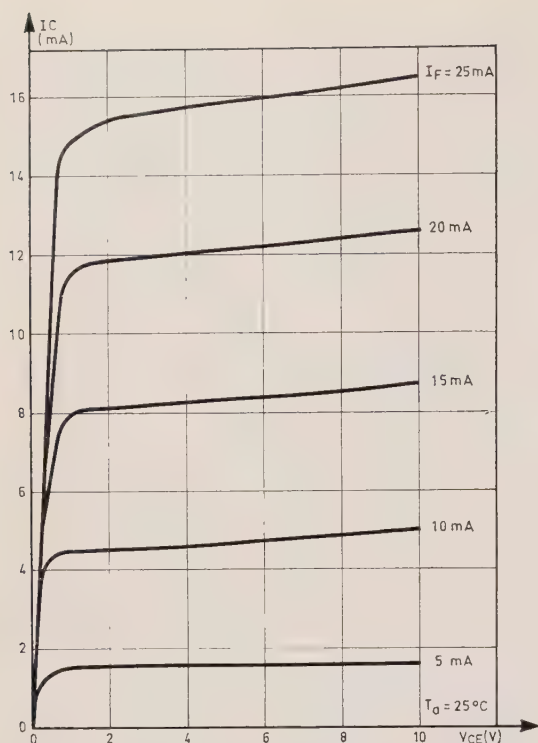


FIG. 9. — Caractéristique du transfert d'un photocoupleur à photo-transistor (174 CQY).

férent pour la valeur nominale du courant d'utilisation, quelle que soit la température. Quant aux durées de vie des dispositifs, elles apparaissent compatibles avec les besoins des utilisateurs, qui se situent entre 2 000 et 100 000 heures.

Perspectives

On peut prévoir que les photocoupleurs vont poursuivre leur développement rapide. En effet les caractéristiques des émetteurs de lumière ne cessent de s'améliorer, leur durée de vie déjà élevée va continuer à croître en raison des progrès concernant la métallurgie de l'arséniure de gallium. Mais surtout on

TABLEAU II
Caractéristiques approximatives
de quelques associations émetteur-récepteur

	Diode diffusée + photo- diode	Diode diffusée + photo- transistor	Diode épitaxie liquide + photo- transistor	Diode diffusée + photo- darlington
Transfert I_C/I_F	0,002	0,5	1,5	20
Courant de fuite en sortie	< 1 nA	< 50 nA	< 50 nA	< 1 μ A
Temps de commutation	10 ns	2 μ s	2 μ s	30 μ s
Tension de claquage entrée-sortie	1 000 à 6 000 V suivant le type			
Résistance de fuite entrée-sortie	> $10^{11} \Omega$			
Capacité de couplage entrée-sortie	2 pF			

peut envisager une large variété de photorécepteurs et de circuits associés aux éléments de base à l'intérieur du quadripôle, tels qu'on n'ait plus besoin de faire appel à un interface avec le circuit d'utilisation. On peut ainsi concevoir des coupleurs capables d'attaquer plusieurs portes, des coupleurs à courant de commande très faible, des coupleurs à photothyristor, photo-SCS ou phototriac, de véritables photo-relais. Cependant il faut souligner que l'extension de ces dispositifs ne se fera qu'avec une collaboration étroite entre utilisateurs et laboratoires d'application et de développement des semiconducteurs. C'est la condition nécessaire pour que la diversité des dispositifs proposés, qui constitue actuellement un inconvénient (quantités trop faibles donc prix trop élevés, choix difficile pour l'utilisateur), permette au contraire une généralisation.

Jacques LEBAILLY, né en 1941, Ingénieur ENSEEC, Docteur 3^e cycle, Responsable optoélectronique au Laboratoire d'Etudes Avancées de RTC, La Radiotechnique-Compelec, Cedex 14 001 Caen. Tél. (31) 81.62.35.

Christian GOUIN, né en 1944, Ingénieur INSA. Laboratoire d'Etudes Avancées de RTC, La Radiotechnique-Compelec, Cedex 14 001 Caen. Tél. (31) 81.62.35.

Fréquences propres d'une cavité hyperfréquence cylindrique contenant un échantillon diélectrique cylindrique coaxial

A. POINSOT

J.C. JOLY



Laboratoire de Radioélectricité
Faculté des Sciences de Dijon

Résumé

Les auteurs établissent la relation qui relie sans approximations, les fréquences propres de résonance d'une cavité hyperfréquence contenant un échantillon diélectrique, aux paramètres géométriques de la cavité et de l'échantillon, et à la constante diélectrique de cet échantillon. Ils discutent du choix d'un mode à utiliser pour la mesure de cette constante.

1. Introduction

Dans un milieu diélectrique linéaire, homogène, isotrope, sans charges ni courants, d'aimantation négligeable, il est possible de dériver le champ électromagnétique d'un potentiel de Hertz électrique [1], [2], $\vec{\pi}$, selon les formules :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{E} = \text{rot rot } \vec{\pi} \\ \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \text{rot } \vec{\pi} \end{array} \right. \quad (1)$$

ou d'un potentiel de Hertz magnétique $\vec{\pi}^*$, selon les formules :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{E} = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \text{rot } \vec{\pi}^* \\ \vec{H} = \text{rot rot } \vec{\pi}^* \end{array} \right. \quad (2)$$

Dans les deux cas, le potentiel de Hertz est solution de l'équation de propagation :

$$\Delta \frac{\vec{\pi}}{\pi^*} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \frac{\vec{\pi}}{\pi^*} = 0. \quad (3)$$

Considérons en coordonnées cylindriques, les potentiels :

$$\frac{\vec{\pi}}{\pi^*} = \left\{ \begin{array}{l} \pi_r = 0, \pi_\theta = 0, \pi_z = \psi \\ \pi_r^* = 0, \pi_\theta^* = 0, \pi_z^* = \psi^* \end{array} \right\}.$$

L'équation (3) se résout aisément par séparation des variables et donne des solutions harmoniques stationnaires du type :

$$\frac{\psi}{\psi^*} = Z_l(r\sqrt{k^2 - h^2}) \cos l\theta \cos(hz + \alpha). \quad (4)$$

Pour un système possédant la symétrie cylindrique, il est évident que la constante de séparation l doit être entière. On a posé $k^2 = \varepsilon\mu\omega^2$ et Z_l est la fonction cylindrique d'ordre l dont la forme générale est une combinaison linéaire $AJ_l + BY_l$ de fonctions de Bessel d'ordre l , de première et de seconde espèce.

2. Equation caractéristique d'une cavité cylindrique contenant deux milieux diélectriques coaxiaux

Nous réserverons l'indice (1) au milieu central et l'indice (2) au milieu annulaire. Les parois métalliques de la cavité seront supposées parfaitement conductrices et on ne tiendra pas compte de la présence du dispositif de couplage nécessaire pour exciter les résonances de cette cavité (fig. 1).

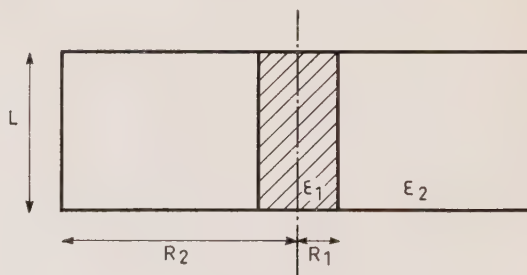


FIG. 1.

On dérive du potentiel de Hertz électrique (4) les champs du type TM_{lmn} (voir annexe I pour les notations).

$$\left\{ \begin{array}{l} E_r = -hKZ_l'(rK) \cos l\theta \sin(hz + \alpha) \\ E_\theta = \frac{hl}{r} Z_l(rK) \sin l\theta \sin(hz + \alpha) \\ E_z = K^2 Z_l(rK) \cos l\theta \cos(hz + \alpha) \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_r = -j \frac{k^2 l}{\mu_0 \omega r} Z_l(rK) \sin l\theta \cos(hz + \alpha) \\ H_\theta = -j \frac{k^2 K}{\mu_0 \omega} Z_l'(rK) \cos l\theta \cos(hz + \alpha) \\ H_z = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

Dans le milieu (1), on prendra $Z_l(u) = AJ_l(u)$ afin d'obtenir des champs finis sur l'axe et dans le milieu (2), on prendra la forme générale :

$$Z_l(u) = BJ_l(u) + CY_l(u).$$

Pour obtenir l'équation caractéristique du système, il suffit alors d'exprimer la continuité des composantes tangentielles des champs sur l'interface $r = R_1$, et l'annulation des composantes tangentielles du champ électrique sur toutes les faces métalliques. Toutefois, le nombre des équations ainsi obtenues serait supérieur au nombre des paramètres à déterminer. On constate aussi que les équations de continuité intéressant E_θ et E_z sont en général incompatibles. Pour lever cette incompatibilité, il suffit d'imposer soit $l = 0$, soit $h = 0$. Un mode de résonance pur du type TM_{lmn} ne peut donc s'établir dans la cavité chargée que si les indices l et n ne sont pas simultanément non nuls.

Cette restriction permet d'obtenir l'équation caractéristique (II-a) que l'on trouvera dans l'annexe II.

De la même façon, on dérive du potentiel de Hertz magnétique (4) les champs de type TE_{lmn} .

$$\left\{ \begin{array}{l} E_r^* = j \frac{\mu_0 \omega l}{r} Z_l(rK) \sin l\theta \cos(hz + \alpha) \\ E_\theta^* = j \mu_0 \omega K Z_l'(rK) \cos l\theta \cos(hz + \alpha) \\ E_z^* = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_r^* = -h K Z_l'(rK) \cos l\theta \sin(hz + \alpha) \\ H_\theta^* = \frac{hl}{r} Z_l(rK) \sin l\theta \sin(hz + \alpha) \\ H_z^* = K^2 Z_l(rK) \cos l\theta \cos(hz + \alpha) \end{array} \right. \quad (8)$$

Les conditions aux limites sur ces champs conduisent à la même incompatibilité que dans le cas des champs de type TM. On sait de plus que h (ou ce qui revient au même l'indice n du mode) ne peut pas être nul dans le cas des modes TE d'une cavité à remplissage homogène. Cette restriction supplémentaire demeure dans le cas d'une cavité contenant deux diélectriques et ne laisse qu'une possibilité pour lever l'incompatibilité, à savoir, prendre $l = 0$ et $n \neq 0$. Les seuls modes purs de type TE seront donc de la forme TE_{omn} et leur équation caractéristique (II-b) est consignée dans l'annexe II (1).

A partir des équations caractéristiques (II-a) et (II-b) (Annexe II), on peut obtenir les expressions établies par divers auteurs [3], [4], [5], [6] cités dans l'index bibliographique, pour étudier et résoudre

(1) Dans les équations caractéristiques données en annexe II, nous avons fait figurer partout des fonctions de Bessel d'ordre l . Les équations correspondant aux modes TE n'ont donc de valeur que pour $l = 0$.

différents problèmes particuliers et permettre les déterminations expérimentales envisagées par eux.

Les relations (II-a) et (II-b) contiennent également les équations caractéristiques bien connues des modes TM et TE d'une cavité à remplissage homogène, obtenues pour $R_1 = R_2$.

3. Equation caractéristique d'une cavité cylindrique contenant trois milieux diélectriques coaxiaux

Ce cas est celui, par exemple, d'une cavité traversée par un tube contenant la substance (liquide, gaz, plasma) à étudier (fig. 2).

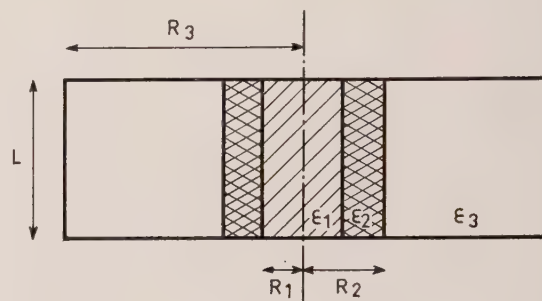


FIG. 2.

Ce cas n'est pas fondamentalement différent du précédent, aussi nous bornons nous à donner, en annexe II), les équations caractéristiques obtenues (équations (II,c) et (II,d).

4. Exploitation des équations caractéristiques pour la mesure des constantes diélectriques et étude topographique des champs

Nous avons écrit des programmes FORTRAN pour les résolutions numériques des équations caractéristiques, en vue d'obtenir la valeur de la constante diélectrique et pour le calcul numérique des grandeurs des composantes des champs $\vec{E}$ ou $\vec{H}$, en vue de tracer des cartes de champs. L'exploitation de ces calculs nous a amenés à quelques remarques :

a) Mesure de ϵ_r

1. Nous avons d'abord comparé les résultats donnés par (II-a) à ceux que fournit la théorie des perturbations [7], [8] pour un mode TM_{020} d'une cavité B , résonnant à vide à 9,2 GHz, chargée par des diélectriques de constante peu élevée. Pour cette cavité de diamètre 5,742 cm et de hauteur 0,5 cm, la théorie des perturbations donne :

$$\epsilon_r = 1 + 2 \frac{\Delta v}{v} \frac{1,489}{V_e}$$

où V_e est le volume de l'échantillon, exprimé en cm^3 .

On trouvera les résultats dans le tableau I.

On constate que la théorie des perturbations donne des résultats supérieurs à ceux obtenus par notre calcul. Cet écart s'accorde avec la modification de la topologie générale des champs, telle qu'elle apparaît, par exemple, sur la figure 4, modification dont la théorie des perturbations ne tient pas compte.

TABLEAU I
Comparaison des résultats pour un mode TM_{020}

Echantillon	Téflon	Plexi-glass	PVC	Afco-dur	Nylon	Bakélite
R_1 (mm)	1,24	1,00	0,95	1,27	0,97	0,99
Fréquence (GHz) Mde TM_{020}	9,13	9,13	9,13	9,08	9,12	9,09
ϵ_r , théorie des perturbations	1,89	2,38	2,47	2,55	2,73	3,22
ϵ_r , résolution de (II, a)	1,88	2,35	2,43	2,51	2,67	3,12

2. Pour utiliser ce calcul sur divers types de modes, nous avons cherché systématiquement tous les modes pouvant s'établir dans une cavité A de diamètre 6,40 cm de hauteur 5,15 cm, entre 8,4 et 10 GHz (bande de fréquence disponible avec le klystron utilisé) ; nous avons mesuré le glissement en fréquence de ces modes lorsqu'on introduit dans l'axe de la cavité un échantillon de plexiglass de rayon $R_1 = 2,5$ mm.

En règle générale, la présence de l'échantillon est sans effet sur les modes dont le premier indice est supérieur ou égal à 2. Pour un premier indice valant 0 ou 1, le déplacement du mode est d'autant plus faible que le dernier indice est plus grand. Pour les modes présentant un glissement de fréquence mesurable à l'aide d'un ondemètre étalonné, nous avons calculé la constante diélectrique correspondante. Sur la figure 3, on a porté, sur la courbe d'étalonnage de l'ondemètre, les différents modes observés, leurs glissements en fréquence et les valeurs de la constante diélectrique qui en découlent.

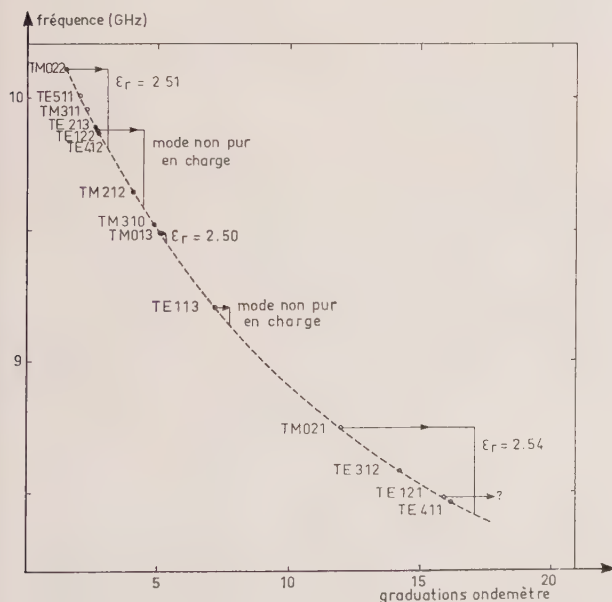


FIG. 3. — Cavité A : $R_2 = 32,0$ mm ; $L = 51,5$ mm ; échantillon plexiglass $R_1 = 2,5$ mm. Déplacement des modes.

Une remarque s'impose pour les modes TE122 et TE113, si l'on introduit progressivement l'échantillon dans la cavité, on voit ces modes glisser depuis leur fréquence à vide jusqu'à une certaine fréquence en charge. Les conditions aux limites ne pouvant pas être satisfaites par ces modes purs, les équations

caractéristiques que nous donnons ici ne sont pas applicables. Un traitement rigoureux demanderait la prise en considération de modes supérieurs dans l'échantillon et au voisinage de celui-ci.

3. Notre but étant finalement de mesurer la constante diélectrique de matériaux ferroélectriques qui peuvent présenter des constantes élevées ⁽²⁾, surtout au voisinage du point de transition, nous avons essayé deux méthodes de mesure plus spécifiques des constantes élevées.

Le glissement en fréquence du mode TM_{020} dans la cavité B est très important si l'on charge cette cavité avec un diélectrique de constante élevée, ce qui nous interdit pratiquement de le suivre, à moins d'opérer avec des échantillons de très petit diamètre. Certains auteurs [9] ont utilisé des échantillons parallélépipédiques dont la plus petite dimension ne dépassait pas 0,02 mm, ce qui impose de sévères contraintes pour la taille et la mise en place.

Toutefois, si on a la liberté de choisir convenablement le diamètre de l'échantillon, on peut faire descendre dans la gamme de fréquence de l'appareillage, des modes dont la fréquence à vide est plus élevée. Ainsi, dans la cavité B , chargée par un tube céramique de rayons $R_1 = 0,795$ mm et $R_2 = 1,625$ mm et de constante ϵ_r voisine de 78 en basse fréquence, nous avons observé un mode TM_{120} (dont la fréquence à vide est de 11,7 GHz), résonnant à 9,10 GHz ce qui conduit, en résolvant (II,c) à une valeur de la constante $\epsilon_r = 64,4$.

Une autre possibilité consiste à utiliser des modes dont le glissement en fréquence est faible et à suivre ces modes.

Comme il est intéressant pour nous d'avoir une seule composante non nulle du champ électrique, la composante E_z , en vue de mesures sur des cristaux anisotropes, nous avons construit une cavité C , résonnant à 9,15 GHz sur le mode TM_{110} ($R_2 = 1,996$ cm, $L = 0,5$ cm). Lorsqu'on introduit sur l'axe de cette cavité, l'échantillon de céramique précédent, le mode TM_{110} glisse jusqu'à une fréquence de 8,48 GHz, ce qui donne, par résolution de (II-c) une constante $\epsilon_r = 64,1$, en bon accord avec le résultat précédent.

b) Calcul des champs

Lorsque l'équation caractéristique est satisfaite pour un type de mode donné, TE ou TM, il devient possible de calculer les constantes A , B , C intervenant dans les expressions (5) à (8) des champs par l'intermédiaire de la fonction Z_l , l'une de ces constantes étant d'ailleurs choisie arbitrairement, ce qui permet éventuellement de normaliser l'une des composantes.

Les figures 4 et 5 montrent, à titre d'exemple, la variation du module $|E_z|$ en fonction de r , respectivement pour le mode TM_{020} dans la cavité B et pour le mode TM_{110} dans une cavité C' (telle que, pour les modes considérés, les cavités B et C' résonnent à vide sur la même fréquence) chargées par un échantillon de rayon $R_1 = 1,5$ mm et pour différentes valeurs de

⁽²⁾ Les matériaux de constante diélectrique élevée, en particulier certaines céramiques présentent souvent une aimantation non négligeable et dans ce cas les équations caractéristiques données ici ne sont pas applicables, surtout si l'on utilise un mode où l'échantillon se trouve placé dans un maximum de champ magnétique.

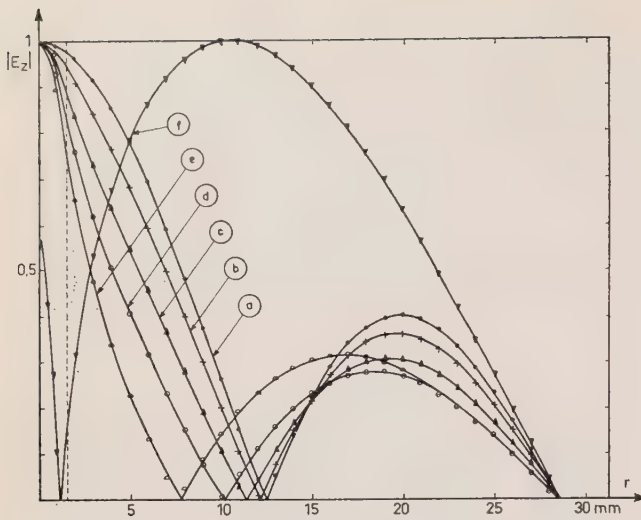


FIG. 4. — Cavité B : $R_2 = 28,62$ mm - $L = 5$ mm ; $R_1 = 1,5$ mm - Mode TM_{020} . Répartition radiale du champ électrique.

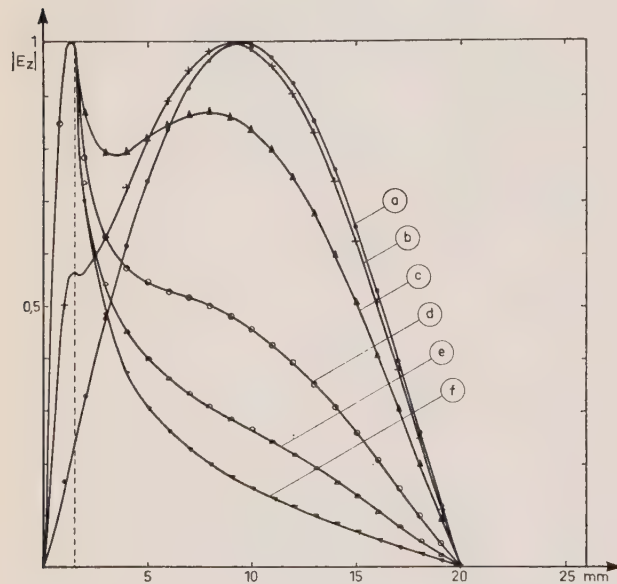


FIG. 5. — Cavité C' : $R_2 = 19,87$ mm ; $L = 5$ mm ; $R_1 = 1,5$ mm - Mode TM_{110} . Répartition radiale du champ électrique.

la constante ϵ_r de cet échantillon (il s'agit, pour ce calcul, d'un modèle mathématique et non d'un échantillon réel).

On trouvera dans le tableau II les renseignements complémentaires nécessaires pour interpréter les différentes courbes.

TABEAU II

Interprétation des figures 4 et 5

	Cour- bes(a)	Cour- bes(b)	Cour- bes(c)	Cour- bes(d)	Cour- bes(e)	Cour- bes(f)
Fréquence (GHz)	9,20	9	8,6	8	7	5
Mode TM_{020}	1	2,767	5,802	10,13	19,39	390,9
ϵ_r						
Mode TM_{110}	1	46,56	66,54	83,53	114,1	230,6
ϵ_r						

5. Conclusion

Nous avons, dans ce mémoire, donné des expressions générales pour les équations aux fréquences propres d'une cavité cylindrique contenant un échantillon diélectrique, cylindrique, coaxial. Nous établissons aussi les expressions générales des champs aussi bien dans l'échantillon que dans la cavité. Pour l'exploitation pratique de ces équations un certain nombre de problèmes, tant théoriques que pratiques restent toutefois présents. Ainsi l'influence des pertes diélectriques n'a pas été envisagée. On peut signaler aussi que la qualité du contact entre l'échantillon et la cavité joue un rôle important et peut affecter largement les résultats.

Cette méthode d'exploitation des résultats de mesure en cavité hyperfréquence nous semble intéressante, car, avec un choix convenable des modes à utiliser, elle permet d'atteindre aussi bien les constantes diélectriques faibles des isolants usuels, que les constantes élevées que peuvent présenter certains matériaux ferroélectriques, sans introduire d'approximations.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Monsieur le Professeur BOUCHARD qui a guidé ce travail et Monsieur VERNIQUET, de la Compagnie LCC (THOMSON-CSF), qui nous a fourni gracieusement différents échantillons de céramiques.

Bibliographie

- [1] STRATTON. — *Electromagnetic Theory*, Mc Graw Hill, Book Company, 1941.
- [2] HERTZ. — *Ann. Physik*, 36, 1, 1888.
- [3] ESTIN et BUSSEY. — *IRE Trans. on microwave theory and techniques* (USA), vol. MTT-8, n° 1, Nov. 1960.
- [4] BUSSEY et STEINERT. — *IRE Trans. on microwave theory and techniques* (USA), vol. 6, n° 1, Janv. 1958.
- [5] BUSSEY et STEINERT. — *Proc. Inst. Engrs* (USA) vol. 45, n° 5, 1957.
- [6] ELSUKOV. — *Soviet Phys. Journal* (USA), n° 4, Juil.-Août 1965.
- [7] WALDRON. — *Theory of guided electromagnetic waves*, Van Nostrand, Reinhold Company, 1970.
- [8] BRODWIN et PARSONS. — *Journal of applied physics*, vol. 36, n° 2, Fév. 1965.
- [9] HOSOYA et NAKAMURA. — *Japanese Journal of applied physics*, vol. 9, n° 5, Mai 1970.

ANNEXE I

Liste des paramètres et principaux symboles utilisés

$\epsilon_0, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$: Constantes diélectriques respectivement du vide, de la région axiale, des couches diélectriques successives entourant la région axiale (on ajoute l'indice r pour désigner les constantes diélectriques relatives).

μ_0 : Perméabilité du vide.

C : Célérité des ondes EM dans le vide, en espace libre.

R_1, R_2, R_3 : Rayons des cylindres où se produisent les discontinuités de constante diélectrique.

L : Hauteur de la cavité.

$\nu, \Delta \nu$: Respectivement, fréquence propre, variation d'une fréquence propre, de la cavité.

E_r, E_θ, E_z : Composantes respectivement, radiale, azimutale, axiale du champ électrique.

H_r, H_θ, H_z : Composantes respectivement, radiale, azimutale, axiale du champ magnétique.

$\rightarrow \rightarrow$
 π, π^* : Potentiel de Hertz de type respectivement, électrique, magnétique.

$J_l(u), Y_l(u)$: Fonctions de Bessel respectivement, de première, de seconde espèce, d'ordre l

$Z_l(u) = AJ_l(u) + BY_l(u)$ fonction cylindrique d'ordre l .

l, m, n : Indices respectivement, azimutal, radial, axial dans la nomenclature d'un mode. Pour l'utilisation des équations caractéristiques (Annexe II). On fixe l et n et m est le rang ordinal des solutions de l'équation caractéristique considérée (les solutions étant classées dans l'ordre croissant de leurs valeurs numériques).

$$h = \frac{n\pi}{L}$$

$$k = \frac{2\pi\nu}{C} \sqrt{\epsilon_r}$$

$$K = \sqrt{k^2 - h^2}$$

ANNEXE II

Equations caractéristiques.

I - Cavité contenant deux milieux diélectriques coaxiaux.

1 Modes TM

$$(II, a) \begin{vmatrix} 0 & J_l(R_2 K_2) & Y_l(R_2 K_2) \\ K_1 J_l(R_1 K_1) & -K_2 J_l(R_1 K_2) & -K_2 Y_l(R_1 K_2) \\ K_1^2 J_l'(R_1 K_1) & -K_2^2 J_l'(R_1 K_2) & -K_1^2 Y_l'(R_1 K_2) \end{vmatrix} = 0$$

2 Modes TE

$$(II, b) \begin{vmatrix} 0 & J_l'(R_2 K_2) & Y_l'(R_2 K_2) \\ J_l'(R_1 K_1) & -J_l'(R_1 K_2) & -Y_l'(R_1 K_2) \\ K_1 J_l(R_1 K_1) & -K_2 J_l(R_1 K_2) & -K_2 Y_l(R_1 K_2) \end{vmatrix} = 0$$

II - Cavité contenant trois milieux diélectriques coaxiaux.

1 Modes TM

$$(II, c) \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & J_l(R_3 K_3) & Y_l(R_3 K_3) \\ K_1 J_l(R_1 K_1) & -K_2 J_l(R_1 K_2) & -K_2 Y_l(R_1 K_2) & 0 & 0 \\ K_1^2 J_l'(R_1 K_1) & -K_2^2 J_l'(R_1 K_2) & -K_2^2 Y_l'(R_1 K_2) & 0 & 0 \\ 0 & K_2 J_l(R_2 K_2) & K_2 Y_l(R_2 K_2) & -K_3 J_l(R_2 K_3) & -K_3 Y_l(R_2 K_3) \\ 0 & K_2^2 J_l'(R_2 K_2) & K_2^2 Y_l'(R_2 K_2) & -K_3^2 J_l'(R_2 K_3) & -K_3^2 Y_l'(R_2 K_3) \end{vmatrix} = 0$$

2 Modes TE

$$(II, d) \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & J_l'(R_3 K_3) & Y_l'(R_3 K_3) \\ J_l'(R_1 K_1) & -J_l'(R_1 K_2) & -Y_l'(R_1 K_2) & 0 & 0 \\ K_1 J_l(R_1 K_1) & -K_2 J_l(R_1 K_2) & -K_2 Y_l(R_1 K_2) & 0 & 0 \\ 0 & J_l'(R_2 K_2) & Y_l'(R_2 K_2) & -J_l'(R_2 K_3) & -Y_l'(R_2 K_3) \\ 0 & K_2 J_l(R_2 K_2) & K_2 Y_l(R_2 K_2) & -K_3 J_l(R_2 K_3) & -K_3 Y_l(R_2 K_3) \end{vmatrix} = 0$$

III. Utilisation des équations caractéristiques

On se fixe une inconnue parmi les paramètres $\epsilon_1, \epsilon_2, R_1, R_2, L, \nu$ (auxquels on adjoint ϵ_3 et R_3 dans le cas d'une cavité à 3 milieux diélectriques) et on donne aux paramètres restants les valeurs correspondant au problème particulier que l'on veut résoudre. On

choisit le type de mode (TM ou TE) et les indices extrêmes l et n de ce mode. La résolution de l'équation caractéristique correspondant au mode choisi est alors possible et donne en général plusieurs solutions, l'indice médian m du mode, qui n'avait pas reçu de valeur avant la résolution, est le rang ordinal des solutions classées dans l'ordre croissant de leurs valeurs numériques.

André POINSOT, né en 1943, Agrégé de Sciences Physiques, Faculté des Sciences de Dijon, Laboratoire de Radioélectricité, 6 bd Gabriel, 21-Dijon. Tél. 30.64.73 poste 428.

Jean-Claude JOLY, né en 1946, DEA d'Electronique, Faculté des Sciences de Dijon, Laboratoire de Radioélectricité, 6, bd Gabriel, 21-Dijon. Tél. 30.64.73.



CEN Saclay

Spectrométrie de rayonnements X de faible énergie par semiconducteurs

Résumé

Après une rapide description d'un spectromètre X à détecteurs Si(Li) refroidis nous analysons les différentes caractéristiques de la tête de détection : résolution en fonction de l'énergie, efficacité, seuil de détection, ... ainsi que les applications envisagées. Nous décrivons la technologie des diodes au silicium compensé au lithium à très faibles capacités (< 1 pF) et courant inverse (10^{-13} A à 77 °K), ainsi que les techniques électroniques permettant d'obtenir des résolutions électriques de l'ordre de 100 eV : préamplificateur à étage d'entrée refroidi (FET à très faible bruit monté sur embase céramique) et à contre-réaction optoélectronique (continue ou pulsée).

Les possibilités de détection de photons X à température ambiante avec des détecteurs semiconducteurs (diodes à avalanche, détecteurs en GaAs) sont également évoquées.

Introduction

Les détecteurs semiconducteurs d'abord utilisés pour la spectrométrie des particules chargées (α , p ...) sous forme de diodes $p-n$ (jonction diffusée) ou $n-p$ (barrière de surface) polarisées en inverse, se sont rapidement imposés pour la spectrométrie fine des photons γ , avec l'apparition de détecteurs Ge(Li) refroidis à 77 °K (3).

La raison de ce succès tient principalement à l'excellente résolution en énergie de ces détecteurs, associée à une résolution temporelle acceptable pour la majorité des applications. Avec la mise au point récente de préamplificateurs à très faible bruit, à transistor à effet de champ refroidi, et l'amélioration de la qualité des détecteurs (technologie, matériau de départ), la spectrométrie des photons de faible énergie (X, γ mous) est devenue possible, particulièrement avec les diodes Si(Li) refroidies [12].

Le domaine d'énergie couramment utilisé dans les différentes techniques mettant en œuvre les rayons X va de quelques centaines d'eV (raies K des éléments légers : C, N, O ...) à une centaine de keV (raies K des éléments lourds). L'ensemble de ce domaine peut être analysé simultanément avec un détecteur Si(Li) [1] refroidi à 77 °K pour réduire le bruit électrique, avec une résolution voisine d'une centaine d'eV pour les éléments légers et de l'ordre de 500 eV pour les X d'une centaine de keV [14].

* Communication présentée le 19 mai 1971 à la demi-journée d'études des 5^e Section (Composants électroniques et microélectroniques) et 11^e Section (Electronique nucléaire et corpusculaire) de la SFER.

Texte remis en octobre 1971.

Les servitudes découlant du refroidissement obligatoire de ces détecteurs pour obtenir les performances citées plus haut (remplissage d'azote, maintien d'un vide poussé, fenêtre d'entrée des photons dans le cryostat) ont orienté les recherches actuelles vers des solutions permettant la spectrométrie fine à température ambiante. Compte tenu de la nature même des semiconducteurs, ceci ne peut être réalisé pratiquement que de deux façons :

— soit en faisant travailler une diode (Si de préférence au Ge) en régime d'avalanche contrôlée, c'est-à-dire en réalisant un compteur proportionnel à l'état solide ;

— soit en cherchant à réaliser des détecteurs dans des semiconducteurs à bande interdite plus large que le silicium (GaAs, CdTe, ...) pour avoir des diodes ayant un courant inverse suffisamment faible à température ambiante (voir plus loin l'étude du bruit).

Nous analysons ces deux éventualités dans la deuxième partie de cet exposé. La première partie est consacrée à la spectrométrie X par détecteurs Si(Li) refroidis : description d'un spectromètre, résolution obtenue, efficacité, applications.

1^{re} PARTIE

DÉTECTEURS Si(Li) REFROIDIS

1. Description du spectromètre-détecteur

Un ensemble de spectrométrie X à détecteur Si(Li) est identique, dans son principe, à un spectromètre γ à détecteur Ge(Li), à savoir : un détecteur refroidi à 77 °K, un préamplificateur à faible bruit, un amplificateur, un analyseur d'amplitude. Il doit être cependant nettement plus performant qu'un spectromètre γ en ce qui concerne la résolution. De ce fait, des techniques nouvelles doivent être utilisées pour réduire au maximum le bruit électronique de l'étage d'entrée du préamplificateur :

- utilisation de détecteurs de très faible capacité ;
- étage d'entrée du préamplificateur refroidi (FET sur embase céramique spéciale) ;
- contre-réaction optoélectronique ;
- cryostats à très faible microphonie.



FIG. 1. — Cryostat à « doigt » froid latéral avec fenêtre de Be de 12 μm d'épaisseur.

Les caractéristiques typiques des détecteurs utilisés dans les spectromètres de très haute résolution que nous décrivons ici sont :

- surface utile 12 mm² à 30 mm²
- épaisseur : 3 à 4 mm
- capacité : 0,7 à 1,1 pF
- courant inverse : inférieur à 1 μA à 20 °C et $\sim 10^{-13}$ A à 77 °K pour $V = 1\,000$ V.

La structure « en sillon » [30] est utilisée au laboratoire pour obtenir des courants inverses très faibles et des tensions de claquage élevées (supérieures à 2 500 V) (fig. 2).

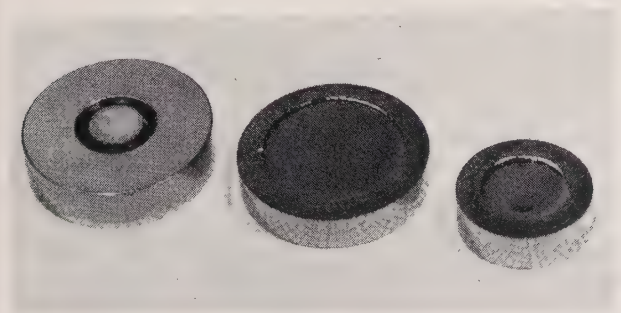


FIG. 2. — Diodes Si(Li) « à sillon ».

2. Résolution

Elle est définie comme la largeur totale à mi-hauteur (LTMH) d'un pic et s'exprime généralement en eV dans le cas des détecteurs semiconducteurs.

C'est la somme quadratique de plusieurs contributions qui, pour les photons X et un détecteur de haute qualité ne présentant pas de piégeage à basse température, se réduisent à deux principales :

$$(\text{LTMH})^2 = \overline{\Delta E^2} = \overline{\Delta E_d^2} + \overline{\Delta E_{el}^2} \quad (1)$$

où ΔE_d et ΔE_{el} sont respectivement la résolution théorique du détecteur et la résolution électrique du spectromètre.

2.1. Résolution théorique du détecteur ΔE_d

C'est la résolution limite que l'on pourrait obtenir, compte tenu de la nature statistique des phénomènes de détection, avec un détecteur parfait, pour une énergie E :

$$\overline{\Delta E_d^2} = F [8 \ln 2 \varepsilon E] \quad (2)$$

$$\Delta E_d = 2,355 [\varepsilon E F]^{1/2} \quad (3)$$

ε énergie moyenne nécessaire pour créer une paire électron-trou, F facteur de Fano [4]. La valeur de F , encore mal connue donne lieu à beaucoup de controverses. Les valeurs expérimentales que nous avons déterminées au laboratoire montrent qu'il est inférieur ou égal à 0,1 entre 6 keV et 50 keV. Les derniers résultats expérimentaux publiés donnent $F = 0,084$ [6] et $F = 0,073$ [7] alors que les calculs théoriques de KLEIN [5] donnent $F = 0,05$. La résolution théorique d'un détecteur au silicium est portée sur la figure 4 pour $F = 0,08$ et $F = 0,05$.

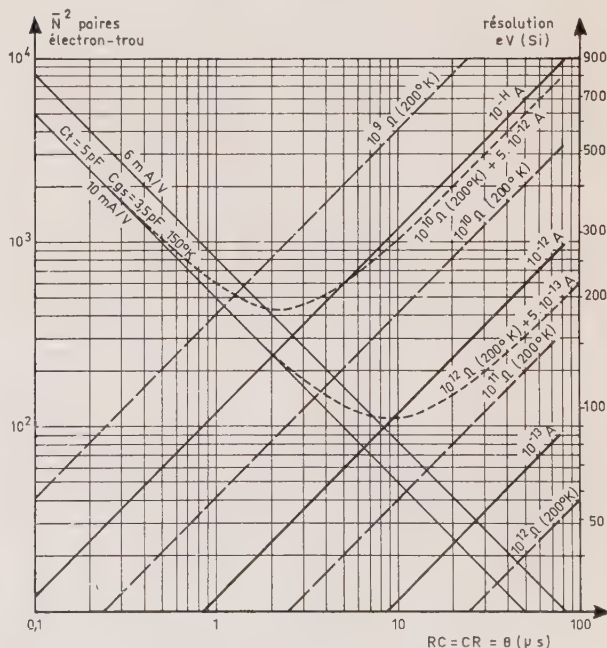


FIG. 3. — Résolutions théorique et expérimentale en fonction de l'énergie.

2.2. Résolution électrique

La résolution électrique de l'ensemble détecteur-électronique associée est l'élargissement d'une raie monoénergétique provoqué par le bruit d'origine électrique du spectromètre. L'analyse des différentes composantes de ce bruit a été faite par ailleurs [8], [9] et

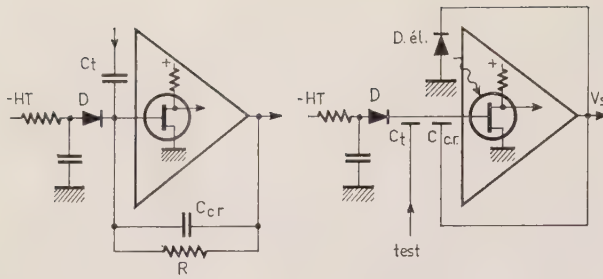


FIG. 4. — Schéma de principe de préamplificateurs sensibles à la charge, à liaison directe, classique (à gauche) et à contre-réaction optoélectronique (à droite).

déborde largement le cadre de cet exposé. Comme ce bruit électrique, dont la presque totalité provient de l'étage d'entrée du préamplificateur sensible à la charge (fig. 3), constitue actuellement la principale limitation à la résolution des spectromètres à Si(Li) pour les X mous, il est utile, pour la discussion, de considérer son expression en fonction des différents paramètres. Pour un amplificateur comportant un filtre simple à une intégration et une différenciation égales ($RC = CR = \theta$) on a :

$$\overline{\Delta E_{el}^2} = 8 \ln 2 \frac{\varepsilon^2}{q^2} \frac{e^2}{2} \left[\frac{0,6kT_F C^2 + 0,15kT_F C_{gs}^2}{\theta g_M} + AC^2 + \frac{\theta}{2} \left\{ q(I_d + I_g + I_s) + \frac{2kT_R}{R} \right\} \right] \quad (4)$$

où :

q : charge de l'électron - e : base des logarithmes népériens - k : constante de Boltzmann - ε : énergie de création d'une paire électron-trou - T_F et g_M : température absolue et transconductance max. du FET - C et $C_{g,s}$: capacité totale à l'entrée et porte-source du FET - $C = C_d + C_i + C_{cr} + C_e + C_p$: capacités du détecteur, d'injection test, de contre-réaction, équivalente d'entrée du FET, et parasites respectivement - A : « constante » de bruit en $1/f^n$ du FET (f : fréquence) - R et T_R : résistance à l'entrée et température absolue de R

I_d , I_g , I_s : respectivement courants de fuite du détecteur, de porte du FET et courant moyen provoqué par les charges créées dans le détecteur par les photons collectés

$$I_s = \frac{E}{\varepsilon} nq \quad (5)$$

où n est le nombre de photons détectés et E leur énergie.

Sur l'abaque de la figure 5 nous avons porté les composantes série (en $1/\theta$) et parallèle (en θ) du bruit, en fonction de θ , pour quelques valeurs des paramètres g_M , T_F , C , $C_{g,s}$, I , R et T_R . Le terme du bruit en $1/f$ a été négligé. La résolution électrique totale obtenue en faisant la somme quadratique des deux composantes présente, pour chaque combinaison des paramètres de [4], un minimum pour une constante de temps optimale :

$$O_{opt} = \left[\frac{\frac{kT_F}{g_M} (0,6C^2 + 0,15C_{gs}^2)}{\frac{kT_R}{R} + \frac{q}{2} (I_g + I_d + I_s)} \right]^{1/2}$$

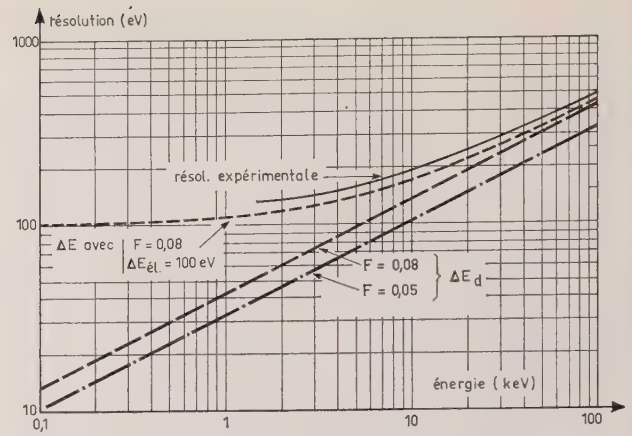


FIG. 5. — Abaque donnant la résolution électronique (ou le bruit) en fonction de la constante de temps de mise en forme de l'amplificateur.

Les conditions d'obtention d'un faible bruit électrique découlent de (4) :

— refroidissement et tri des FET : transconductance élevée, faible capacité porte-source ;

— faible capacité totale à l'entrée : les détecteurs que nous réalisons ont une capacité inférieure à 1 pF ; Les capacités C_i et C_{cr} sont respectivement de quelques centièmes de pF et de 0,1 pF ;

— refroidissement du détecteur (77 °K) et du FET (120 °K à 150 °K) pour réduire I_d et I_g jusqu'à environ 10^{-13} A ;

— travail à faible taux de comptage pour limiter I_s ;

— choix de la constante de temps θ rendant (4) minimal ;

— augmentation de la résistance à l'entrée (R). Avec les valeurs de courants et de capacités indiqués plus haut, la majeure partie du bruit est due à cette résistance et plus précisément, dans les préamplificateurs sensibles à la charge classique, à la résistance haute valeur de contre-réaction et à la résistance d'isolement des capacités C_i et C_{cr} et de l'isolant (verre) des embases TO 18 ou TO 72 des FET (2N 4416), la valeur de ces résistances décroissant énormément avec la fréquence [10]. Pour éviter ces ennuis et réduire le bruit apporté par la résistance R nous utilisons un préamplificateur à contre-réaction optoélectronique et nous remplaçons le verre des embases des FET par un isolant de meilleure qualité.

2.3. Préamplificateur à contre-réaction optoélectronique - FET sur embase céramique

La résistance de contre-réaction est supprimée et remplacée par un couplage optoélectronique [2] : une diode électroluminescente commandée par la tension de sortie de la boucle V_s (fig. 3) envoie sur le FET un flux lumineux (6 700 Å) proportionnel à V_s qui modifie l'isolement de la porte du FET de façon à permettre l'écoulement des charges dues à I_d et I_s . Le couplage ainsi réalisé est indépendant de la fréquence, dans la bande passante de l'amplificateur, en raison de la rapidité de la contre-réaction lumineuse.

Les FET sont démontés de leur embase et remontés sur des embases céramiques à très haute résistivité, à faibles pertes diélectriques (oxyde de béryllium ou nitrure de bore) et à faible capacité parasite entre connexions (moins de 0,1 pF).

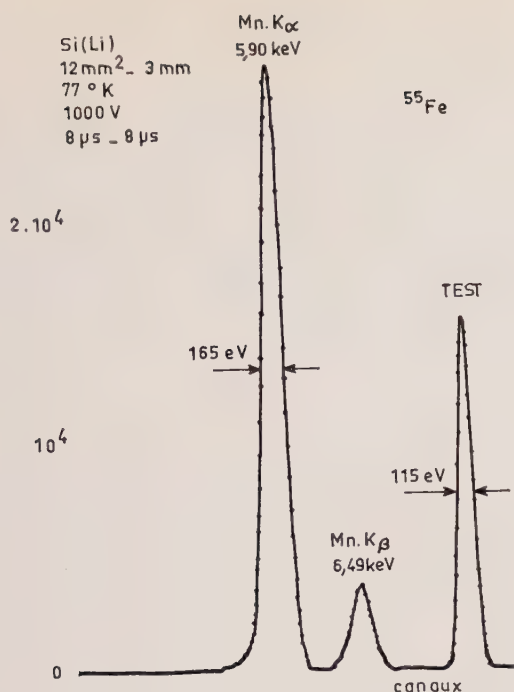


FIG. 6. — Spectre d'une source de ^{55}Fe (X du Mn).

Les capacités d'injection test et de contre-réaction sont réalisées directement dans le cryostat à l'aide de fils rigides convenablement espacés de la porte du FET, de sorte que leur résistance d'isolement sous vide poussé est très élevée.

Au lieu du filtre simple RC-CR utilisé pour le calcul du bruit on utilise en réalité des filtres beaucoup plus élaborés : filtres actifs assurant une mise en forme gaussienne ou semi-gaussienne des impulsions. Le calcul du bruit devient inextricable avec de tels filtres mais les lignes générales déduites de la formule (4) restent valables.

Dans ces conditions la résolution électrique de l'ensemble détecteur-électronique associée est d'environ 110 eV [14]. Sur la figure 4, nous avons porté la résolution totale calculée en fonction de l'énergie, dans le cas d'une résolution électrique de 100 eV et d'un facteur de Fano de 0,084, ainsi que la résolution expérimentale (trait plein) que nous obtenons à faible taux de comptage (100 chocs/s) avec des constantes de temps de mise en forme de 8 μs (différenciation simple-triple intégration).

Les figures 6 et 7 montrent des exemples de spectres obtenus pour des énergies faibles.

2.4. Remarques

Un certain nombre de phénomènes autres que ceux indiqués tendent à détériorer la résolution :

a) les X de fluorescence ou diffusés, dus aux matériaux entourant le détecteur : ils tendent à augmenter le fond continu ou superposent des raies parasites sur le spectre. Il faut utiliser des matériaux de numéro atomique faible autour du détecteur ;

b) la microphonie due soit à l'environnement du cryostat, soit au cryostat lui-même (ébullition de l'azote liquide), si sa construction n'est pas particulièrement soignée. Seuls les cryostats où le froid est

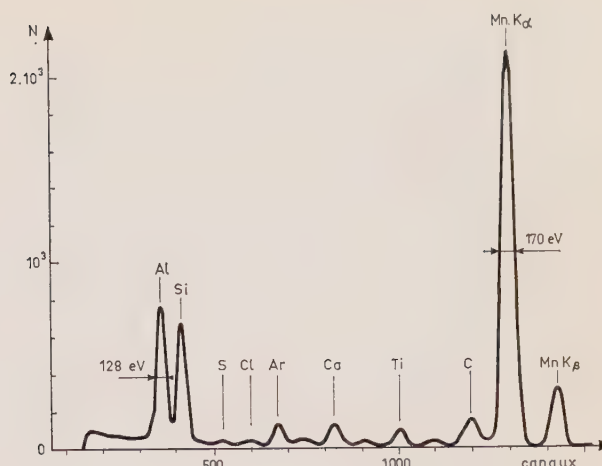


FIG. 7. — Exemple de spectre de fluorescence obtenu en excitant du Si recouvert de papier d'aluminium avec les X d'une source de 1 mCi de ^{55}Fe .

amené sur le détecteur par conduction sont satisfaisants : canne plongeante ou doigt froid latéral (fig. 1) ;

c) toute lumière ou tout rayonnement parasite atteignant le détecteur (diode électroluminescente, opacité insuffisante des passages hermétiques du cryostat ou de la fenêtre en béryllium, rayonnement infrarouge du capot du cryostat) : ils provoquent une augmentation du courant inverse et donc du bruit ;

d) l'augmentation du taux de comptage : le courant moyen I_s dû aux charges collectées dans le détecteur croît et ceci d'autant plus que l'énergie des photons incidents est élevée comme l'indique la relation (5). De plus l'éclairement du FET croît avec I_s ce qui entraîne une augmentation simultanée de I_g . Ainsi la résolution pour K_α du Mn (5,9 keV) qui est de 160 eV à 50 chocs/s, atteint 200 eV pour quelques milliers de chocs/s.

La solution préconisée par GOULDING [11], que nous avons également réalisée au laboratoire, pour conserver une excellente résolution à taux de comptage élevé (plusieurs dizaines de milliers de chocs/s) consiste à utiliser une *contre-réaction optoélectronique pulsée* : lorsque la tension de sortie V_s de la boucle atteint un seuil haut V_{s1} , la diode électroluminescente éclaire fortement le FET pour décharger rapidement la capacité de contre-réaction C_{cr} et ceci jusqu'à ce que V_s retombe en-dessous d'un seuil bas V_{s2} . Pendant ce temps on bloque l'ensemble de l'électronique. Dans ces conditions les charges dues aux paires collectées ne s'écoulent plus pendant les périodes actives et la résolution ne se détériore que très peu avec le taux de comptage. Le temps actif par contre décroît lorsque le taux de comptage croît.

3. Efficacité - seuil de détection

3.1. Efficacité intrinsèque photoélectrique du détecteur

C'est le pourcentage de photons détectés dans le pic d'énergie E parmi les photons de cette énergie arrivant sur le détecteur.

Pour un détecteur Si(Li) de 3 mm d'épaisseur utile, l'efficacité photoélectrique est pratiquement de 100 %

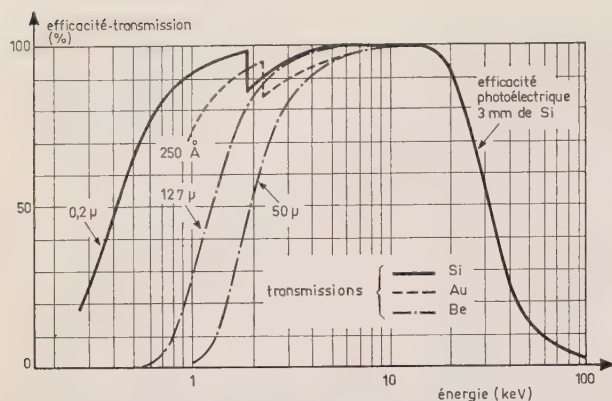


FIG. 8. — Efficacité d'un détecteur de Si de 3 mm et transmission de différentes fenêtres.

jusqu'à une énergie avoisinant 20 keV (fig. 8). Elle chute rapidement au-delà de cette énergie et au-dessus de 50 keV on aura intérêt à prendre un détecteur Si(Li) plus épais, ou mieux un détecteur Ge(Li) ($Z = 32$ pour le Ge contre 14 pour le Si).

Les détecteurs Ge obtenus sans compensation au lithium à partir de Ge de haute pureté (quelques 10^{10} impuretés par cm^3) devraient supplanter dans un avenir proche les Ge(Li) pour les photons X et les γ mous d'énergie supérieure à quelques dizaines de keV. Ces détecteurs sont en effet stables à température ambiante et ont d'ores et déjà des épaisseurs utiles suffisantes pour ces énergies.

Pour les énergies faibles, l'efficacité intrinsèque est limitée par la fenêtre d'entrée du détecteur constituée par :

- un film mince d'environ 200 Å d'or (contact électrique p^+) ;

- une zone morte de silicium sous-jacente, où le champ électrique est perturbé et où la collection des charges est incomplète, que l'on évalue à $0,2 \mu$ de Si [1] mais dont l'épaisseur dépend des conditions de préparation de la surface et de la polarisation appliquée au détecteur.

La figure 8 montre la transmission en fonction de l'énergie d'une couche de $0,2 \mu$ de Si ainsi que celle d'une couche d'or de 250 Å ($50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). En fait la validité de cette dernière est très douteuse en raison des variations importantes d'épaisseur des couches d'or minces évaporées et de l'inexactitude probable des coefficients d'absorption massique pour de telles épaisseurs.

3.2. Efficacité intrinsèque du spectromètre

Elle se déduit de celle du détecteur en tenant compte de la distance détecteur-fenêtre du cryostat et surtout de la transmission de cette dernière dont l'épaisseur est de $12,7 \mu\text{m}$ de Be dans le cas de détecteurs de faible surface : 12 à 30 mm^2 (fig. 8).

3.3. Le seuil de détection en énergie

Il est limité d'une part par la fenêtre en Be et d'autre part par le bruit. Le nombre d'impulsions de bruit par seconde (n) à la sortie de l'amplificateur dont l'amplitude dépasse un seuil S est donné par :

$$n \text{ (chocs/s)} = \frac{1}{2\pi\theta} \exp -\frac{1}{2} \left(\frac{2,355 S}{\Delta E_{el}} \right)^2.$$

Le seuil au-delà duquel on pourra sortir un pic du bruit dépend :

- de la résolution ΔE_{el} ;
- du taux de comptage (le nombre d'impulsions de bruit étant constant), par conséquent, de l'activité de la source et de l'efficacité du détecteur.

On peut prendre en première approximation $S = 3 \cdot \Delta E_{el}$, soit environ 300 eV dans notre cas. Lorsque la source est placée en dehors du cryostat c'est donc la fenêtre de Be qui constitue la principale limitation pour les X mous.

4. Linéarité

La linéarité est excellente pour les X d'énergie supérieure au keV. JAKLEVIC [1] qui a étudié la linéarité en-dessous de 2 keV n'a décelé aucune non-linéarité entre 500 eV et 2 keV, les variations observées étant inférieures à l'erreur probable sur la détermination de la position du pic (4 eV dans son cas).

Pour les X d'énergie plus faible on peut s'attendre à une certaine non-linéarité due au fait qu'une fraction de plus en plus importante de l'ionisation se produit dans la zone morte du détecteur ce qui entraîne une déformation et un décalage des pics vers les basses énergies.

5. Applications

L'apparition des spectromètres à Si(Li) de très bonne résolution est encore trop récente pour que se dégagent toutes les applications possibles. Les domaines où ils commencent à être utilisés sont principalement :

- la *spectrométrie nucléaire* : spectrométrie X de radioéléments ou de sources complexes (combustibles irradiés), détermination de schémas de désintégration, ... Dans certains cas de spectres complexes ou de raies non résolues en spectrométrie α ou γ l'utilisation de spectromètres X en coïncidence ou anti-coïncidence devrait être d'une grande utilité ;

- l'*analyse par fluorescence X* où ces spectromètres non dispersifs permettent une analyse simultanée rapide et non destructive de tous les éléments présents. Actuellement les raies K d'éléments voisins sont complètement séparées jusqu'au silicium environ et le domaine pratique d'utilisation est de 1 keV à 50 keV environ. En-dessous de 1 keV il est nécessaire de placer les échantillons sous vide et de prévoir un système d'effacement de la fenêtre de Be du cryostat, tout en conservant une fenêtre très fine (film d'Al de $25 \mu\text{g}/\text{cm}$ par ex.) entre l'échantillon et le détecteur pour éviter d'une part que de la lumière parasite atteigne ce dernier, et d'autre part, d'avoir à faire un vide poussé sur l'échantillon et la source utilisée pour exciter la fluorescence. Par cette technique JAKLEVIC et GOULDING à Berkeley sont descendus jusqu'au carbone [1].

Une application intéressante est l'association de ces spectromètres avec les microscopes électroniques à balayage. Ils permettent d'avoir un cliché rapide de la répartition des différents éléments à la surface d'un échantillon ou une analyse semiquantitative rapide d'un point particulier de l'échantillon.

SPECTROMÉTRIE X A TEMPÉRATURE AMBIANTE

Nous envisagerons successivement les deux possibilités évoquées dans l'introduction : diodes à multiplication interne et semiconducteurs à grand gap.

1. Diodes à multiplication interne

La diode est utilisée en régime d'avalanche contrôlée. Le champ électrique à la jonction est suffisamment élevé pour que les paires électron-trou primaires soient accélérées jusqu'à devenir ionisantes à leur tour entraînant une multiplication des charges. La structure de ces diodes doit être telle que le champ électrique en surface reste très inférieur au champ régnant à la jonction, pour éviter les claquages. Ceci peut être obtenu, par exemple, par une structure en biseau, comme celle préconisée par G.C. HUTH [15], [16] qui étudie ces diodes depuis plusieurs années à la fois pour la détection nucléaire et pour la détection des photons dans le visible de l'infra-rouge.

Les études théoriques [19], [20], [22] montrent cependant que l'application de ces détecteurs à la spectrométrie fine ne semble possible que dans des cas très particuliers (particules créant une ionisation bien localisée par exemple) et que la résolution est loin d'être compétitive avec les détecteurs classiques refroidis. La principale limitation provient du fait que dans les semiconducteurs le coefficient d'ionisation est différent pour les électrons et les trous [19]. Il en résulte que le coefficient de multiplication M varie avec l'endroit du détecteur où se produit l'ionisation primaire. La résolution est très dégradée lorsque les particules ont des parcours élevés ou que l'endroit où se produit l'ionisation, pour des rayonnements de même énergie, est aléatoire (électrons, photons). D'autre part la tension d'avalanche varie avec la température et pour une tension de fonctionnement fixée M varie énormément pour une très faible dérive de température. La fenêtre d'entrée constitue aussi un handicap pour ces diodes, la région de champ intense ne pouvant se trouver trop près de la surface pour des questions de stabilité.

Toutefois associés à une électronique rapide et non intégrante, par exemple un discriminateur rapide à diode tunnel comme indiquent LOCKER et HUTH [17], ces détecteurs peuvent être utilisés pour du comptage de particules ou de photons et permettent même, la détection à température ambiante d'énergies très faibles, très inférieures au niveau de bruit qu'aurait une telle diode avec une électronique intégrante traditionnelle. Ainsi à 25 °C on peut compter des photons de 500 eV avec des diodes à multiplication au Si et de 10 keV avec des diodes identiques au Ge, ce qui est très loin d'être réalisable avec des diodes Si ou Ge classiques non refroidies.

Une sonde pour analyse par fluorescence X a été réalisée par les mêmes auteurs à partir de deux de ces compteurs en utilisant la technique, bien connue en fluorescence X, des filtres balancés : un filtre absorbant la raie à analyser est placé devant un détecteur et un

deuxième filtre transmettant la raie en question devant l'autre détecteur. La différence de comptage entre les deux compteurs obtenue électroniquement permet d'obtenir directement le nombre de photons dans la raie étudiée. Cet appareil a été prévu en particulier pour l'analyse semiquantitative rapide de la teneur en calcium et en potassium du sol lunaire lors des missions « Apollo ».

Parmi les autres applications données par les auteurs citons :

— les appareils médicaux [23], [24], [25] : détection localisée de radioactivité dans les plaies, sondes miniatures ... ,

— l'utilisation de ces détecteurs associés à une source radioactive comme jauges de densité, de pression, d'épaisseur [18] ;

— la réalisation de matrices de diodes pour localisation ou réalisation d'images [25].

2. Semiconducteurs à large bande interdite

Parmi les matériaux semiconducteurs dont la bande interdite est supérieure à celle du silicium plusieurs ont été essayés comme détecteurs nucléaires : SiC, CdTe, GaAs, PbI₂, PbTe, InSb, PbO, HgI₂ ... Deux seulement de ces composés retiennent actuellement l'attention pour la spectrométrie des photons : CdTe et GaAs.

2.1. CdTe

Il est étudié principalement en vue de la spectrométrie γ : absorption élevée en raison de son Z élevé ($Z \sim 50$), fonctionnement possible à température ambiante ($\Delta E = 1,4$ eV). Les résolutions obtenues à l'heure actuelle avec ce matériau, quoique en nets progrès sont encore insuffisantes pour l'analyse de photons de faible énergie.

2.2. GaAs

L'arséniure de gallium a été longtemps considéré comme impropre à la détection nucléaire en raison de sa structure de bande et des phénomènes de relaxation basse fréquence aux champs élevés [26] (différents de l'effet Gunn). Du fait que son numéro atomique moyen n'apporte pas d'amélioration par rapport au Ge ($Z = 32$ dans les deux cas) les recherches s'étaient plutôt orientées vers le CdTe.

Mais des progrès importants ont été enregistrés récemment dans la technologie du GaAs. Des couches épitaxiales de 50 à 100 μm d'épaisseur présentent maintenant des caractéristiques compatibles avec leur utilisation pour la fabrication de détecteurs :

— concentration totale d'impuretés ($N_A + N_D$) avoisinant 10^{13} cm^{-3} ;

— bonne mobilité des porteurs :

$$\mu_e > 8\,000 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ à } 300 \text{ °K} [28]$$

$$\mu \simeq 400 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ à } 300 \text{ °K} [29]$$

$$\mu_e \sim 10^5 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ à } 77 \text{ °K} [28].$$

Les valeurs élevées de μ_e à 77 °K constituent une preuve de la faible concentration totale d'impuretés.

TAVENDALE [27], [28] a réalisé des diodes à barrière de surface (Au) à partir de couches épitaxiées obtenues en phase liquide dont les caractéristiques sont :

- couche n de $33 \Omega \text{ cm}$ ($2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$)
- substrat n^+ dopé à l'étain (10^{11} cm^{-3})
- épaisseur de la couche épitaxiée : 65 à 95 μm
- surface utile de diamètre 1,5 mm (contact p^+).

Pour quelques dizaines de volts appliqués les courants inverses sont de 1 à 10 nA à température ambiante et la résolution obtenue en détection de particules et de photons est :

- 640 eV sur les γ de 59,5 keV (^{241}Am) à 122 °K
- 2,6 keV sur les γ de 122 keV (^{57}Co) à 295 °K
- 24,5 keV sur les α de 5,48 MeV de ^{241}Am à 295 °K.

Des diodes réalisées à partir de couches épitaxiées de 250 μm d'épaisseur obtenues en phase vapeur sur substrat semi-isolant ont donné des résolutions moins bonnes pour les photons (4,8 keV à 295 °K pour les γ de 59,5 keV de ^{241}Am) mais meilleures en α (19 keV à 295 °K pour les α de 5,48 MeV).

Certes des progrès restent à faire avant une utilisation commerciale de tels détecteurs : obtention de couches plus épaisses — diminution du « trapping » élevé à basse température (pièges profonds) — suppression des problèmes d'interface entre couche épitaxiale et substrat, etc. Néanmoins pour le domaine d'énergies qui nous intéresse ici, des épaisseurs relativement minces de GaAs suffisent pour avoir une efficacité acceptable et ces détecteurs seraient très bien adaptés au problème de spectrométrie de rayons X à température ambiante et en particulier pour la réalisation d'ensembles de détection X de faibles dimensions pour appareils portatifs ou industriels.

Conclusion

L'utilisation des semiconducteurs devrait s'intensifier rapidement dans les techniques faisant appels aux rayons X en raison de leur résolution supérieure à celle des autres détecteurs impulsionnels [12]. La principale limitation vers les faibles énergies reste la fenêtre d'entrée du cryostat dans le cas des Si(Li). Inversement, compte tenu de la qualité des cristaux nécessaires à la réalisation de détecteurs de hautes performances, la réalisation de diodes nucléaires est devenue l'outil le plus précis actuellement pour la caractérisation des matériaux semiconducteurs : dans les cas des détecteurs compensés au lithium on arrive ainsi à des concentrations de 10^{10} cm^{-3} impuretés

non compensées, soit plusieurs décades en-dessous des limites de toutes les méthodes analytiques.

Les études de collection des charges en fonction de la température permettent de mettre en évidence les pièges, leur niveau approximatif et le type de porteurs piégés.

Bibliographie

- [1] JAKLEVIC J.M., GOULDING F.S. — Rapport UCRL 20 152 (1970), Detection of Low Energy X-Rays with Si(Li) Detectors.
- [2] GOULDING F.S., WALTON J., MALONE D.F. — UCRL 18 698 (1969).
- [3] PELL E.M. — *Journal of Applied Physics*, 31, 291 (1960).
- [4] FANO U. — *Phys. Rev.*, 72, 26 (1947).
- [5] KLEIN C.A. — *IEEE Trans.*, N.S. 15, 3 (1968), 214.
- [6] EBERHARDT J.E. — *NIM*, 80, 291 (1970).
- [7] ZULLIGER H.R., AITKEN D.W. — *IEEE Trans.*, NS 17, 3, (1970), 187.
- [8] ELAD E. — Proceedings of the Ispra Nuclear Electronic Symposium (1969), 21.
- [9] RADEKA V. — Colloque Int. sur l'Electronique Nucléaire, Versailles (sept. 1968) p. 46-1 et BNL 12 748 (1968).
- [10] KERN, MAC KENZIE J.M. — *IEEE Trans.*, NS 17, 1, 260 (1970).
- [11] LANDIS D.A., GOULDING F.S., PEHL R.H., WALTON J.T. — UCRL 20 151 (1970).
- [12] FRIANT A. — Rapport CEA R 3805 (1969).
- [13] FRIANT A. — CEA-Conf. n° 1541 (1970).
- [14] FRIANT A., GRAS R., LORIN A., SALIOU C. — Note CEA, n° 1401 (1970).
- [15] HUTH G.C., TRICE J.B., MCKINNEY R.A. — *The Review of Scientific Instruments*, vol. 35, n° 9 (1964), 1220.
- [16] HUTH G.C. — *IEEE*, NS 13, 1 (1966), 36.
- [17] LOCKER R.J., HUTH G.C. — *Applied Phys. Letters*, vol. 9, 6 (1966), 227. Voir aussi rapports d'activité NYO-3246.
- [18] JOHNSTON P.A. — NYO-4028 TA. 1, déc. 69.
- [19] OGAWA J. — *Nucl. Inst. and Meth.* 49 (1967), 325.
- [20] HAITZ R.M., SMITS F.M. — *IEEE*, NS 13, 3 (1966), 198.
- [21] KEIL G. — *NIM*, 65 (1968), 277.
- [22] RUGE I., BERG G., HEUBERGER A. — *NIM*, 84 (1970), 55.
- [23] KEWKA P.V., HUTH G.C., SWINTH K.L. — *IEEE*, NS 17, 3 (1970), 285.
- [24] JONES A.R. — AECL 2637 (1967).
- [25] HUTH G.C. — *IEEE*, NS 15, 3 (1968) 246.
- [26] BARRAUD A. — C.R. Ac. Sciences 1963, t. 257, 1263, Thèse Paris (1967).
- [27] EBERHARDT J.E., RYAN R.D., TAVENDALE A.J. — *Appl. Phys. Letters*, 17 (1970) 427.
- [28] EBERHARDT J.E., RYAN R.D., TAVENDALE A.J. — A paraître dans C.R. du Symposium International sur le CdTe, Strasbourg, 29-30 juin 1971.
- [29] HESSE K., GRAMANN W. — A paraître dans C.R. du Symposium International sur le CdTe, Strasbourg, 29-30 juin 1971.
- [30] LLACER. — Rapport BNL 9335 (1965).

Alain FRIANT, né en 1936, licencié ès Sciences, Docteur du 3° Cycle, Ingénieur au CEA. CEN/Saclay - SES/SERA/SERF/LERA. Tél. 951.80.00.

M. MOTRO

Considérations sur les transmissions par porteuse infrarouge



Texas Instruments-France

La transmission d'informations par modulation de porteuse pose toujours le problème de la génération de cette fréquence porteuse à l'émission et de la démodulation à la réception.

Les dispositifs à semiconducteurs émetteurs ou sensibles au spectre visible ou infrarouge, permettent d'apporter une solution originale à ces problèmes. Nous nous proposons dans les lignes qui suivent de décrire les possibilités et problèmes afférant à cette technologie.

Bandes spectrales d'émission

En dehors des dispositifs à semiconducteurs, il existe de nombreuses autres sources de rayonnement infrarouge. Notamment, les corps portés à une haute température ont des spectres d'émission situés dans les mêmes bandes que les dispositifs à semiconducteurs.

La figure 1 très classique, représente les spectres d'émission des corps noirs à différentes températures (300 à 2 800 °K). L'une des bandes les plus employées en optoélectronique est celle des 0,9 μ , nous remarquons qu'elle correspond à l'émission du corps noir à 2 800 °K.

Il en résulte que les perturbations qui pourraient être amenées par les corps chauds seront plus faibles vers le proche infrarouge. Par contre, les sources de rayonnement visibles généralement utilisées émettent presque toujours des bandes latérales parasites dans le proche infrarouge. Il est donc nécessaire d'utiliser

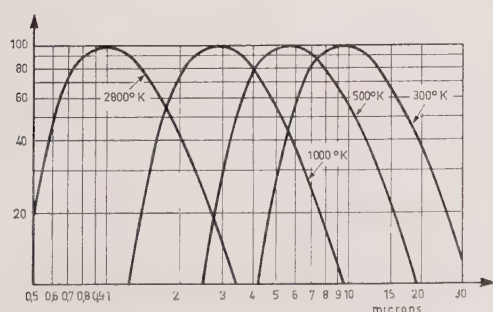


FIG. 1. — Spectres d'émissions des corps en fonction de la température.

un type de modulation qui permette de s'affranchir de ces rayonnements parasites.

Les différents types de source infrarouge, caractéristiques

Emetteur à arséniure d'indium

Il est constitué par une jonction P-N de InAs qui, polarisée dans le sens direct, émet une radiation de bande 3 à 3,6 μ . La longueur d'onde d'émission dépend de la température (fig. 2). Le dispositif est actif de 300 à 4,2 °K.

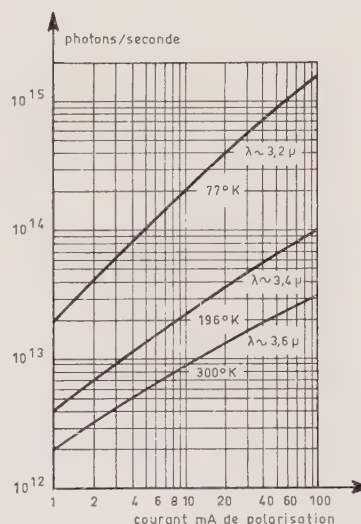


FIG. 2. — Emission de photons en fonction du courant de polarisation pour un détecteur InAs.

Les temps de montée et de descente de la radiation émise sont de 0,1 μ s. La quantité de photons émise croît avec le courant de polarisation et varie en sens inverse de la température.

La linéarité de la caractéristique de cet émetteur permet une modulation sinusoïdale de la radiation émise.

Emetteur à arséniure de gallium

Ce type d'émetteur réalisé à partir d'une jonction P-N de GaAs ont une bande d'émission centrée à 0,93 μ pour 300 °K. La bande spectrale d'émission a une largeur de 500 Å.

Le centrage de la longueur d'onde d'émission varie avec la température (de 223 °K à 400 °K, la variation est de 600 Å).

Afin d'étudier plus finement les caractéristiques de ces dispositifs, il convient de considérer deux types : moyenne puissance (quelques dizaines de milliwatts) et forte puissance (quelques watts).

Diode émettrice de moyenne puissance

Ces diodes ont des fréquences de coupure de quelques dizaines de MHz, les technologies planar permettant d'obtenir les fréquences les plus élevées. Ainsi, il est possible de réaliser des voies de transmission de 10 MHz de largeur. Néanmoins, compte tenu des différentes caractéristiques en température de ce type de composants, il est souhaitable de transmettre les informations par codage d'impulsions.

Emetteur de puissance

Ils sont généralement constitués de jonctions P-N d'arséniure de gallium obtenues par croissance en phase liquide isolées par des structures mesa.

L'émission de photons est obtenue par recombinaison des électrons injectés dans la région P droit.

Une structure hémisphérique est généralement utilisée afin d'accroître l'efficacité quantique par rapport aux géométries planes.

Une telle structure permet en effet d'éliminer le phénomène de réflexion totale.

Ce type de composant étant particulièrement adapté aux transmissions par voie optique, nous allons voir en détails ses caractéristiques électriques :

Résistance série

La caractéristique tension-courant d'une telle diode d'émission peut être approximée par la formule :

$$I = I_0 \left[\exp \frac{qV}{nKT} - 1 \right].$$

où :

I = courant discret

I_0 = courant inverse à saturation

q = charge de l'électron

V = tension appliquée

K = constante de Boltzmann

T = température

normalement $I \gg I_0$, d'où l'approximation

$$\frac{dV}{dI} = \frac{nKT}{qI} = r.$$

r = résistance série.

donc r est une fonction de I . Néanmoins dans les zones normales d'utilisation r peut approximativement être considéré comme constant. Le calcul donne pour les diodes utilisées actuellement des valeurs comprises entre 0,1 et 1 Ω.

Cette caractéristique permet de déterminer partiellement la distorsion obtenue lors d'une modulation en tension.

L'un des autres éléments à prendre en considération est la dérive de la chute de tension directe en fonction de la température et du courant direct :

— la chute de tension directe varie en fonction inverse de la température avec coefficient de 1 à 2 mV par degré centigrade ;

— la variation de tension en fonction du courant V_f sera :

$$\Delta V_f = \frac{nKt}{q} \log_e \frac{I_{f1}}{I_{f2}}.$$

n = constante caractéristique de la diode pour les diodes GaAs n varie de 1 à 3

I_f = courant direct

V_f = tension directe.

Linéarité

La puissance du rayonnement émis est pratiquement une fonction linéaire du courant direct, lorsque la diode est utilisée dans la zone médiane des courants directs autorisés.

La linéarité est d'autant meilleure que la température est faible.

Le coefficient en mW/mA est de l'ordre de 0,1, 0,2.

Puissance émise

L'abaissement de la température des dispositifs permet d'accroître le courant direct de polarisation, donc la puissance émise. Un abaissement de température de 80 °C amènera un accroissement de la puissance émise dans un rapport 2.

Ainsi des essais menés sur le dispositif TIXL 16 ont montré à 25 °C une puissance maximale émise de 300 mW, la même diode portée à -196 °C a permis d'obtenir une puissance émise continue supérieure à 2 W.

Rendement

A une température donnée, le rendement est une fonction du courant de polarisation (fig. 3). Il passe

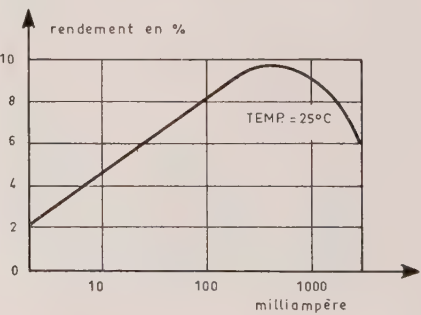


FIG. 3. — Variation du rendement en fonction du courant de polarisation Emetteur AsGa.

par un maximum, pour lequel le rendement est de l'ordre de 10 %.

Diagramme de rayonnement

Les différents diagrammes de la figure 4 montrent la directivité de l'émission, qu'il est encore possible d'améliorer par des dispositifs optiques.

L'analyse de ces différentes caractéristiques montre que les dispositifs à semiconducteurs permettent de disposer d'une source dont la stabilité en fréquence est bonne, modulable en amplitude ou par codage d'impulsions et ceci avec un bon rendement.

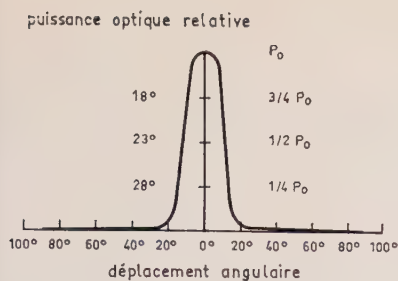


FIG. 4a. — Diagramme de rayonnement de puissance d'un émetteur AsGa.

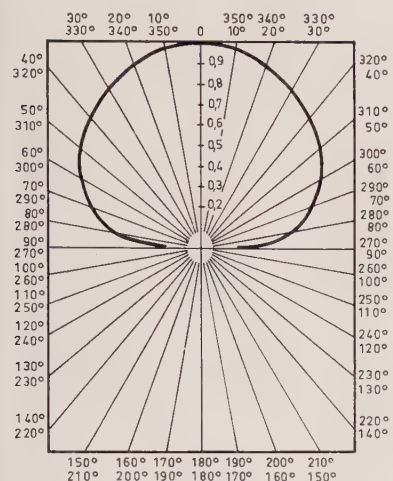


FIG. 4b. — Intensité relative du rayonnement émetteur AsGa en fonction de la position angulaire.

L'étude des dispositifs de réception qui va suivre va nous permettre de mettre en évidence une autre caractéristique importante : la très large bande d'accord entre l'émetteur et le récepteur.

Les dispositifs de réception opto-électronique

Les dispositifs d'émission que nous avons décrits couvrent les bandes 3,2 et 0,9 μ , nous nous proposons d'étudier les récepteurs correspondants.

DÉTECTEURS DANS LA BANDE DE 3,2 μ .

De nombreux détecteurs infrarouge couvrent cette bande :

- arséniure d'indium (77 à 300 °K)
- Ge : Hg (28 °K)
- Ge : Cu (10 °K)

Intéressons nous au détecteur InAs (type photovoltaïque)

Le schéma équivalent électrique (fig. 5) montre la génération de courant sous haute impédance, en parallèle avec un générateur de bruit et l'impédance équivalente de la diode (résistance capacité).

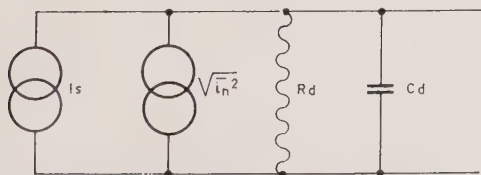


FIG. 5. — Schéma équivalent détecteur In As.

La valeur de R_d est inversement proportionnelle à la surface du détecteur et à la température.

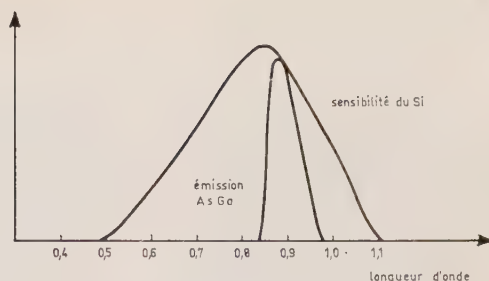


FIG. 6. — Accord des spectres d'émission AsGa et sensibilité du silicium.

La valeur de la capacité est de 0,01 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$. R_d varie de 25 Ω à 300 Ω à 300 °K à quelques mégohms pour 77 °K.

Les temps de réponse obtenus à partir d'un tel dispositif sont inférieurs à 0,5 μs .

Le niveau de bruit est constant pour les fréquences supérieures à 2 000 Hz, il augmente quand la fréquence diminue.

La détectivité $D(\lambda 450,1)$ est comprise entre 10^9 et 10^{11} pour des températures allant de 77 à 300 °K.

Lorsque la surface du détecteur est supérieure à $2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$, il est nécessaire de polariser légèrement le détecteur, pour des surfaces inférieures il peut être directement relié à l'entrée d'un amplificateur via une résistance.

En résumé, ce type de détecteur est très performant en ce qui concerne les caractéristiques de bruit, par contre ils sont limités en fréquence (1 à 2 MHz), ils nécessitent, par ailleurs, l'utilisation de dispositifs de refroidissement pour obtenir leurs performances optimales.

DÉTECTEURS DANS LA BANDE DES 0,9 μ

Les détecteurs au germanium, au silicium, couvrent cette gamme d'utilisation et ont des spectres de sensibilité très largement accordés sur le spectre d'émission des émetteurs à arséniure de gallium.

Deux types de détecteurs peuvent être utilisés normaux ou à avalanche.

Les détecteurs à avalanche sont polarisés près de leur tension d'avalanche, le gain est ainsi 100 à 200 fois supérieur à celui des diodes de détection classiques. Ce qui permet d'éviter l'utilisation d'un préamplificateur à très faible bruit. Les produits gain bande passante sont de 50 à 80 GHz. C'est donc le préamplificateur qui limite la bande passante.

Les modules réalisés actuellement ont des bandes passantes de 50 MHz, avec une courbe de réponse très plate. Ces résultats peuvent être améliorés par un accroissement des performances des sections de préamplification.

La détectivité de tels dispositifs est de l'ordre de 10^{10} , 10^{11} .

Conclusion

Il est actuellement possible de réaliser des transmissions par voie optique infrarouge avec des dispositifs très simples à semiconducteurs, les bandes passantes qu'il est possible d'obtenir permettent de transmettre intégralement des voies video complètes.

Les progrès technologiques constants permettront d'ajouter à la simplicité des dispositifs des performances de portée de plus en plus grandes.

JOURNÉES D'ÉLECTRONIQUE NUCLÉAIRE DU CEA SACLAY 12-13 AVRIL 1972

Trois manifestations composaient les deux journées organisées par le Service d'Electronique de Saclay :

— Une demi-journée d'études de la Division Electronique, Radioélectricité et Télécommunications* (DERT) de la Société des électriciens et électroniciens (SEE) sur le thème : « Le traitement du signal transitoire ultra rapide ».

— Une série de démonstrations de conception assistée par ordinateur.

— Une exposition de matériel.

Traitement du signal transitoire ultra rapide

Le thème qui intéresse de nombreux secteurs de la Physique Nucléaire a été essentiellement examiné sous l'angle de la précision.

Trois grands domaines étaient prévus :

- l'oscillographie digitale ultra rapide ;
- l'oscillographie analogique ultra rapide ;
- la chronométrie.

Les objectifs de précision étaient de 10^{-3} pour les mesures d'élongation et de 0,1 ns pour la chronométrie.

A la dernière minute, deux communications prévues sur « l'oscillographie analogique à 5000 MHz de bande passante utilisant un multiplicateur d'électrons à microcanaux » durent être supprimées, les autorisations nécessaires n'ayant pas été données.

M. TRABAUD (CEA Bruyères-le-Châtel) a présenté un dispositif de traitement digital d'un signal transitoire unique : l'ARIES 300. Cet analyseur est capable de prélever sur une impulsion unique 20 échantillons dont la cadence d'échantillonnage peut se situer entre 20 MHz et 600 MHz, et dont l'épaisseur est voisine de 600 ps. La dynamique de chaque voie de mesure est de l'ordre de 66 dB et la précision en temps des prises d'échantillons est de 100 ps. Chaque voie d'échantillonnage fournit ses résultats sous la forme d'un nombre binaire comprenant 11 bits d'amplitude et le signe (± 2.048 mV). Un circuit logique de multiplexage émet les vingt nombres binaires en série vers l'extérieur. Un petit calculateur fera l'acquisition de ces mesures et traitera le résultat en prenant en compte un certain nombre de paramètres mémorisés. Les dispositifs ARIES peuvent être associés en série lorsque le signal à analyser exige une grande dynamique en amplitude ou en temps.

MM. IMHOFF (THOMSON-CSF), NEGROU (CEA Le Barp), et NEY (CEA Grenoble) ont présenté trois exposés relatifs à des dispositifs destinés à l'analyse numérique et la mémorisation de signaux transitoires uniques ou à très faible récurrence. Ils permettent l'enregistrement de la courbe obtenue avec le maximum de fidélité pour pouvoir effectuer en temps différé un traitement des résultats d'analyse à une vitesse plus lente compatible avec la rapidité des moyens de traitement dont on dispose.

Ce traitement du signal par des méthodes numériques permet d'effectuer des calculs et de faire intervenir des éléments correctifs ou les paramètres de l'expérience.

La fréquence d'échantillonnage varie selon les dispositifs exposés entre 10 et 50 MHz.

M. PELTE (THOMSON-CSF) a fait part des possibilités actuelles de la chronométrie. Grâce à l'utilisation de verniers d'atteindre des résolutions de 100 ps sur des

intervalles de temps non répétitifs. Ces résolutions peuvent s'obtenir sur des trains d'impulsions recalables entre elles par des multichronomètres. Des applications en détonique, balistique et physique nucléaire où l'usage de la multichronométrie série ou parallèle étaient nécessaires avec des résolutions de 0,1 à 1 ns, ont été citées. De même dans le domaine de la poursuite de satellites, le couplage à un laser, d'un chronomètre de 100 ps de résolution et d'un capteur photosensible a permis de mesurer des distances de plusieurs milliers de kilomètres avec une résolution de l'ordre de 10 cm.

MM. ESCHARD et CLÉMENT (Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée) et DELMARE (CEA) ont présenté une communication sur la mesure et la visualisation d'impulsions lumineuses subnanosecondes et sur l'utilisation d'un picroscope nécessités pour l'étude des techniques de génération de phénomènes lumineux très brefs (lasers fonctionnant en régime bloqué). Ils ont présenté deux dispositifs de détection :

- une photodiode hyper rapide et un photomultiplicateur à microcanaux ayant pour principales caractéristiques :
 - une réponse très rapide (quelques dizaines de ps) ;
 - une réponse spectrale étendue (UV, visible et proche IR) ;
 - une bonne linéarité et une bonne dynamique ;
 - une sensibilité élevée (utilisation de microcanaux multiplicateurs d'électrons).

Ils ont ensuite donné les raisons qui les ont amenés à intégrer dans un même tube, appelé « Picroscope », l'élément détecteur et le dispositif de balayage. L'utilisation d'une galette de microcanaux comme détecteur a permis une augmentation de la sensibilité et de la résolution temporelle (inférieure à 10 ps) du dispositif. Cette dernière a pu être conservée sur une durée totale d'observation de 100 ns grâce à un balayage en spirale.

Conception assistée par ordinateur

La complexité des circuits a amené les électroniciens à utiliser l'ordinateur pour la simulation et l'essai des circuits, et, également pour l'implantation des composants.

Les démonstrations de conception assistée par ordinateur ont été faites sur des terminaux équipés de systèmes de visualisation.

Un programme de tracé automatique de circuits imprimés double face a été montré. Le document initial est le schéma logique du circuit. Le programme optimise l'emplacement des opérateurs logiques, puis les regroupe en circuits logiques standards et enfin effectue le tracé du circuit imprimé double face.

Le programme IMAG II a été utilisé pour simuler des circuits à composants discrets grâce à une importante bibliothèque de transistors.

Le programme UBU de simulation de circuits logiques a également été montré. Il permet d'étudier le fonctionnement d'un dispositif en établissant le diagramme des temps.

Une autre utilisation, non moins intéressante de l'ordinateur, a fait l'objet d'une démonstration : l'essai automatique de circuits réels.

* DERT 26^e section : Electronique Nucléaire et Corpusculaire.

Nouveautés techniques

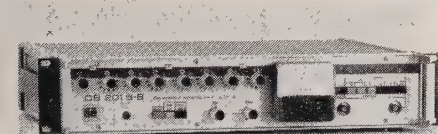
GÉNÉRATEUR-SYNTHÉTISEUR DE FRÉQUENCE MODÈLE CS 201 SB

Cet appareil est destiné aux applications nécessitant la génération de fréquences stables et précises en mode CW et une bonne régulation du niveau de sortie.

Caractéristiques : une seule gamme de fréquence de 0,1 Hz à 2 MHz.

Précision et stabilité : $2 \cdot 10^{-8}/24$ h.

Affichage numérique à 8 chiffres avec une résolution de 0,1 Hz.



Programmation numérique en code DCB 1-2-4-8 logique positive.

Composantes harmoniques — 54 dB typique.

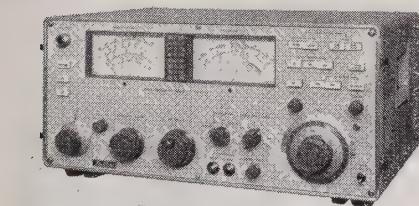
Niveau de sortie réglé de 1 mV à 3 V_{eff} ± 0,02 dB.

Impédance de sortie : 0, 50, 75 ou 600 Ω.

ADRET ELECTRONIQUE : Avenue Vladimir Komarov, 78-Trappes. Tél. 462.83.50.

MESUREUR DE CHAMP ET DE PARASITES

ANRITSU présente le mesureur de champ et de parasites ML 512-A, qui couvre la bande de fréquences de 25 MHz à 500 MHz. Cet équipement permet la mesure des parasites en quasi-crête. Trois bandes passantes sont disponibles 15 kHz, 80 kHz et 200 kHz.

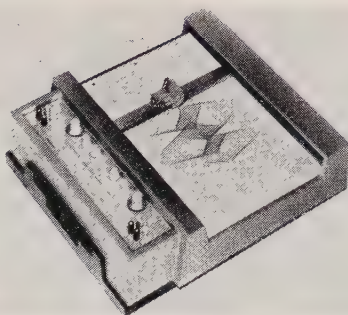


En balayage électronique l'équipement peut être utilisé en récepteur panoramique à la fréquence maximale de balayage de 500 balayages par seconde.

COMSATEC : 134, avenue de Malakoff, 75-Paris-16°. Tél. 727.43.09.

ENREGISTREUR ANALOGIQUE X-Y

Le nouvel enregistreur BRUSH 500 de type XY à encre pressurisée a une vitesse d'écriture de 1 000 mm/s et la surface d'écriture est de 250 × 375 mm.



L'appareil est portable mais peut également être monté sur rack ou sur pupitre, il fonctionne aussi bien en position verticale que dans la position horizontale.

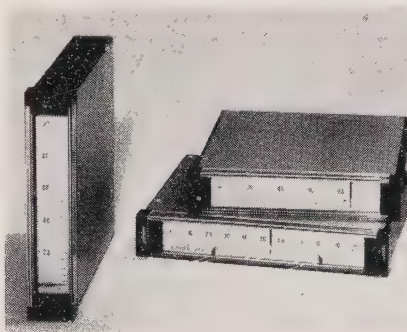
Des préamplificateurs incorporés permettent 13 échelons de sensibilité allant de 100 μV par division à 1 V par division. La linéarité sur la totalité de l'échelle est 99,85 % pour chaque axe, elle est assurée par l'emploi d'éléments de contre-réaction sans contact évitant les opérations de maintenance normalement associées aux commandes de contre-réaction du type potentiométrique.

BUREAU DE LIAISON : 113, rue de l'Université, 75-Paris-8°.

INDICATEUR A ÉCHELLE PLANE ET LINÉAIRE EXAPRÉCIS - SÉRIE ELAN

Dotés d'un dispositif original d'asservissement, ces appareils présentent les caractéristiques suivantes :

— Indicateur simple ou à deux points de consignes réglables.



— Précision meilleure que 10^{-3} .

— Temps de réponse pleine échelle : 500 ms.

— Calibre à partir de quelques mV ou de quelques μA.

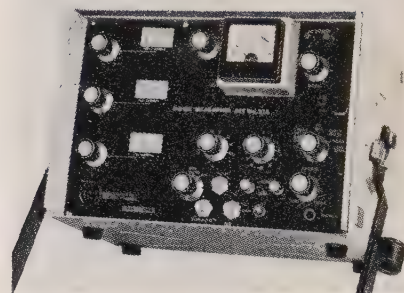
— Epaisseur 24 mm.

— Alimentation secteur ou courant continu.

EXAPRÉCIS : 38, rue Planchat, 75-Paris-20°. Tél. 636.00.13.

MESUREUR DE CHAMP

EDDYSTONE commercialise un mesureur de champ et de parasites qui couvre la bande de fréquence de 31 à 250 MHz. La gamme de



mesure est de 110 dB. L'appareil portatif et autonome permet la mesure de champ radio-électrique et la mesure de parasites sur tous systèmes tels que moteurs à explosion, ensembles électroniques, fours haute fréquence, etc.

COMSATEC : 134, avenue de Malakoff, 75-Paris-16°. Tél. 727.43.09.

MILLIWATTMÈTRE HYPERFRÉQUENCE

PACIFIC MEASUREMENTS annonce un milli-wattmètre qui permet de lire directement sous forme numérique la puissance dans une plage de 50 dB avec une résolution de 0,01 dB en une seule gamme de mesure.

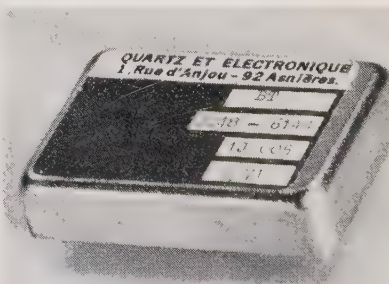


La gamme de fréquence couverte s'étend de 1 à 18 GHz. L'appareil, grâce aux sorties BCD isolées, peut être intégré dans des systèmes de contrôle automatique.

SCIE : 31, rue George-Sand, 91-Palaiseau. Tél. 928.19.14.

BASE DE TEMPS

Dans de nombreux systèmes électroniques, on a besoin d'une référence de temps sous la



forme de signaux rectangulaires à des fréquences de 1 Hz, 2 Hz, 100 Hz, 1 kHz, etc.

Les progrès, en caractéristiques et en prix des circuits intégrés diviseurs permettent de partir de fréquence de base de quelques MHz, zone dans laquelle les quartz ont les meilleures performances en dimension, précision et prix.

La Société QUARTZ ET ELECTRONIQUE a développé des bases de temps, alimentées sous 5 V, qui délivrent des signaux rectangulaires compatibles avec les logiques TTL. Gamme de fréquence de 1 Hz à 20 MHz.

QUARTZ ET ELECTRONIQUE : 1, rue d'Anjou, 92-Asnières. Tél. 533.32.00.

NANOVOLTMÈTRE NUMÉRIQUE TEKELEC-AIRTRONIC MODÈLE TE 925

Caractéristiques

Gamme de mesure : 1 nV à 1 V.

Affichage à cristaux liquides sur 10 000 points.
Classe 0,01.



Sélection des gammes : manuelle, automatique ou programmable.

Dispositif de décalage du zéro.

Sortie analogique.

Impédance d'entrée : 10 à 100 MΩ.

TEKELEC-AIRTRONIC : Cité des Bruyères, rue Carle Vernet, 92-Sèvres. Tél. 626.02.35.

UNITÉ CENTRALE INTÉGRÉE SUR UNE SEULE PASTILLE INTEL MODÈLE 8008

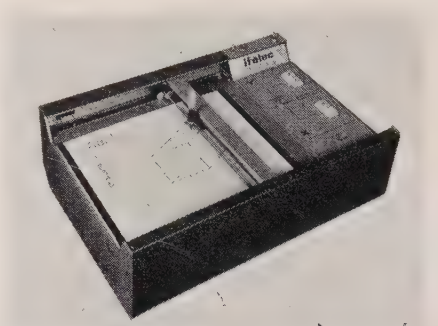
Présentée en un boîtier céramique à 18 broches cette unité centrale utilise la technologie *Silicon-Gate MOS* à canal et comporte :

- un accumulateur à 8 bits ;
- 6 registres de travail à 8 bits ;
- 2 registres temporaires de 8 bits ;
- un additionneur parallèle sur 8 bits ;

ENREGISTREUR INCREMENTAL X - Y

IFELEC présente une table traçante XY type 2025 S pour la représentation graphique des informations numériques délivrées à la sortie d'un ordinateur ou d'un lecteur de bande.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :



Entrée : code à 5 moments, logique TTL.

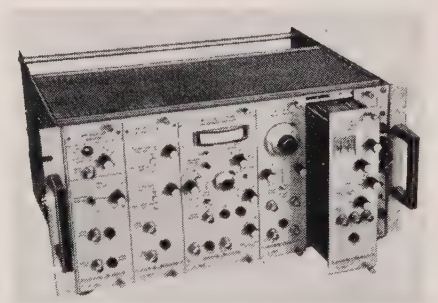
Enregistrement : cadence max. 200 pas de 0,1 mm/s, ou 100 pas de 0,2 mm/s.

Surface utile : 200 × 250 mm.

CCA : 188, rue Championnet, 75-Paris-18^e.

AMPLIFICATEUR DÉTECTEUR SYNCHRONÉ

TEKELEC-AIRTRONIC a mis récemment sur le marché un nouvel amplificateur détecteur syn-



chrone type TE 9822 destiné aux mesures sur les signaux fortement noyés dans le bruit.

Cet instrument permet les mesures précises d'amplitude ou de phase de signaux très faibles dans la gamme de 1 Hz à 1 MHz, à partir de quelques nanovolts.

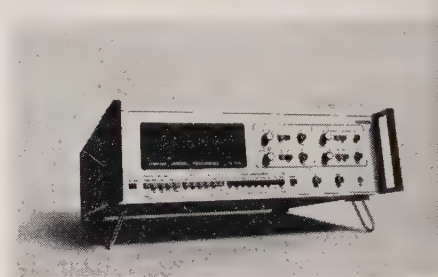
Les applications sont des domaines de l'optique, le magnétisme, l'électronique et les télécommunications, la mécanique.

TEKELEC-AIRTRONIC : Cité des Bruyères - rue Carle Vernet, 92-Sèvres. Tél. 626.02.35.

COMPTEUR PROGRAMMABLE

SCHLUMBERGER lance une nouvelle série de compteurs universels programmables FJ 2530.

En fonction fréquencemètre l'appareil permet les mesures de fréquence de 0 à 250 MHz en direct et par cartes enfichables de 500 MHz à 1 GHz.



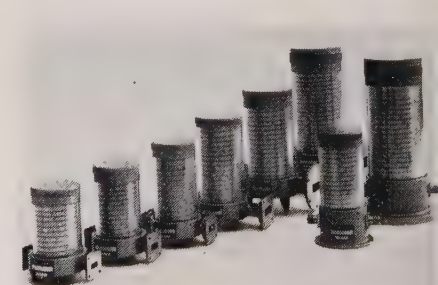
En multipériodes de 1 à 10⁸ périodes la résolution est de 10 ns, 100 ns et 1 μs. En chronomètre l'appareil permet sur deux voies identiques des mesures d'intervalles de temps, avec une résolution de 10 ns. Pour l'emploi avec un calculateur industriel aucun interface n'est nécessaire. La programmation s'étend à toutes les fonctions à toutes les gammes et aux entrées de signaux. Les résultats sont affichés sur 10 chiffres par diodes électro-luminescentes dont la luminosité est réglable.

SCHLUMBERGER Instruments et Systemes
1, rue Nieuport, 78-Velizy-Villacoublay. Tél. 946.96.50.

ONDEMÈTRES HYPERFRÉQUENCE À LECTURE DIRECTE M.D.P.

L'ensemble des modèles proposés couvre les fréquences allant de 1 à 21 GHz.

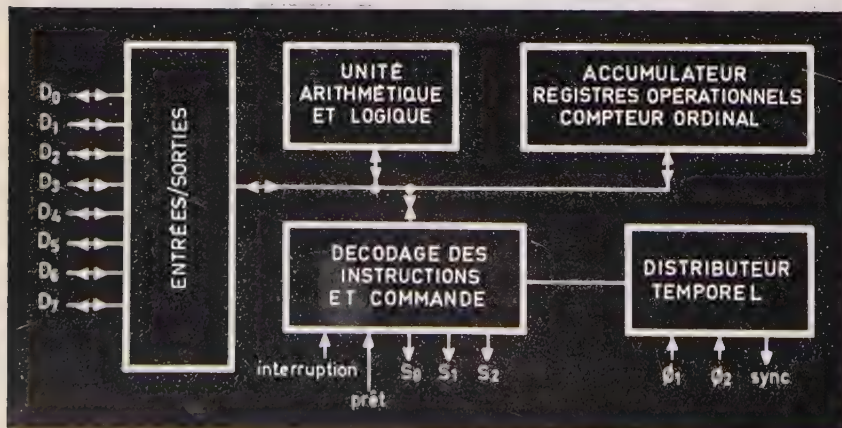
Caractéristiques : précision allant selon les modèles de 0,085 à 0,2 %.



Absorption typique à la résonance ≤ 1 dB
Température d'étalonnage +20 °C.

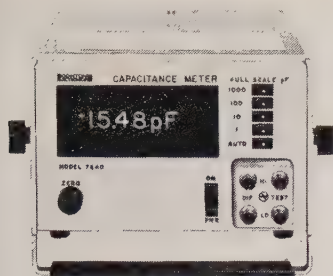
Température de fonctionnement +15 à +30 °C.

M.D.P. Département Hyperfréquences : 8 rue Jules-Simon, 92-Boulogne-Billancourt. Tél. 605.37.00.



CAPACIMÈTRE NUMÉRIQUE BOONTON ELECTRONICS MODÈLE 72 AD

4 gammes de mesure de 0,01 à 2 000 pF.
Fréquence de mesure : 1 MHz.
Résolution : 0,001 pF.



Entièrement programmable.
Sorties BCD et analogique.

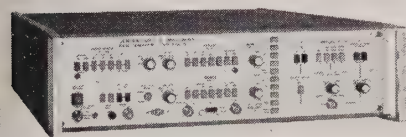
BOONTON ELECTRONICS (USA).

Représentation en France : RADIO EQUIPEMENT
ANTARES, 9, rue Ernest-Cognac, 92-Levallois-
Perret. Tél. 737.54.80.

GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS À ÉTAT SOLIDE FERISOL MODÈLE P 220

Cet appareil, de très haute qualité, présente
de très intéressantes caractéristiques :

- Fréquence de répétition 2,5 Hz à 25 MHz ;
- Impulsions simples ou doubles ;
- Retard réglable de 10 ns à 100 ns ;
- Temps de montée et de descente réglables de
10 ns à 10 ms ;
- Durée des impulsions réglable de 20 ns à
100 ms ;



- Polarité positive ou négative (niveau continu
ajustable 3 V) ;
- Amplitude variable de 3,12 V à 50 V/50 Ω
- Rapport cyclique : 90 % max ;
- Protection contre les surcharges.

FERISOL : 18, avenue P.V.-Couturier, 78-Trappes
Tél. 462.88.88.

GÉNÉRATEUR A DEUX FRÉQUENCES

LOGIMETRIX présente un générateur 2 tons
HF « Modèle 315 » destiné aux mesures sur
des équipements de radiocommunications
BLU/BLI.

Le générateur « Modèle 315 » comprend
deux générateurs verrouillés en fréquence et un
ajusteur. Cet appareil permet de contrôler
les performances des circuits HF des émetteurs-
récepteurs, BLU/BLI. En outre chaque géné-
rateur est utilisable séparément et fonctionne
en compteur de fréquence. La gamme de fré-
quence s'étend de 250 kHz à 80 MHz, l'inter-



valle de fréquence des 2 tons est réglable de
100 Hz à 80 MHz.

SPKTRIX : 31, bd du 11 Novembre 1918,
95-Herblay. Tél. 978.17.48.

Carnet des Sociétés

TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

Lors de leur fondation, au début des années
30, les Etablissements TEXAS INSTRUMENTS
avaient pour activité la géophysique et la pros-
pection pétrolière. L'électronique jouait déjà
un rôle important.

En 1952, fut créée la division des semicon-
ducteurs, puis, peu de temps après, la division
des systèmes digitaux. Il est utile de rappeler
qu'à l'heure actuelle cette dernière produit le
plus gros système informatique du marché,
l'ordinateur ASC et le miniordinateur 960 A,
tous deux équipés de mémoires à état solide.

Parmi les nombreuses autres divisions, nous
pouvons citer la division matériaux, la division
services, la division contrôle.

Sur le plan européen, il y a quatre usines
couvrant chacune un marché particulier et qui
sont situées par ordre d'ancienneté au Royaume
Uni, en France, en Allemagne Fédérale et en
Italie.

Le siège social de la société se trouve à
Dallas (USA).

TEXAS INSTRUMENTS FRANCE

Le Président Directeur Général de TEXAS
INSTRUMENTS FRANCE est Monsieur P. BONELLI.
L'usine, qui emploie 1 500 personnes, se trouve
à Villeneuve-Loubet près de l'aéroport inter-
national de Nice. On y produit des semicon-
ducteurs et des ordinateurs.

La qualité des produits est une des préoc-
cupations essentielles puisque plus de cent per-
sonnes du service « qualité » effectuent des
contrôles à divers endroits des chaînes de pro-
duction.



Tous les produits sont soumis à des essais
dont certains sont imposés par les cahiers des
charges des clients. Certaines chaînes sont
homologuées.

Circuits intégrés

Une gamme très complète de circuits in-
tégrés est produite dans cette usine. Il y a toute
une ligne de mémoires :

Mémoires actives : RAM (à accès aléatoire),
CAM (à circulation).

Mémoires mortes (à diodes ou à réseau mé-
tallique) : programmables par l'utilisateur ou
par le fabricant.

Dans le domaine des circuits intégrés à la
demande, la technique appliquée fait appel à
l'ordinateur pour la simulation des circuits et
l'implantation des cellules. L'optimisation du
circuit est effectuée « manuellement ».

Semiconducteurs discrets

Les semiconducteurs discrets font l'objet
d'un effort particulier, notamment en ce qui
concerne les prix et la qualité. Les produits les
plus remarquables sont : des transistors HT
(2 200 V), des paires différentielles, des chop-
peurs, des transistors à effet de champ, des
transistors darlington, des transistors destinés
aux télécommunications, des thyristors, des
triacs, etc.

Composants optoélectroniques

Une série de produits est présentée : dispo-
sitifs de visualisation, photolecteurs, photo-
coupleurs, barrières optiques, etc.

Composants haute fiabilité

Cette division est dotée d'une unité de pro-
duction comportant une salle blanche de grande
superficie.

Adaptés à chaque technologie, 4 niveaux de
fiabilité ont été créés à partir de programmes
sélectifs : spatial, militaire, télécommunication
et informatique, professionnel. Il est à remarquer
que les Etablissements TEXAS INSTRUMENTS
n'ont pas participé au programme CONCERTO.

La qualité, la diversité, la production de
masse et le service semblent être les quatre
facteurs qui caractérisent l'activité des Etablis-
sements TEXAS INSTRUMENTS FRANCE.

Conférences et Colloques

COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES BASES DE LANCEMENT Kourou (Guyane française), 22-28 novembre 1972

Le CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
(CNES) organise du 22 au 28 novembre 1972
à Kourou, au CENTRE SPATIAL GUYANAIS, avec
le concours de la DIRECTION DES RECHERCHES
ET MOYENS D'ESSAIS (DRME) et de l'ORGANI-
SATION EUROPÉENNE POUR LA MISE AU POINT
ET LA CONSTRUCTION DE LANCEURS D'ENGINS
SPATIAUX (CECLES), un Colloque interna-
tional sur les bases de lancement.

Les principaux thèmes abordés seront :

- Conception des bases de lancement ;
- Organisation générale des lancements ;
- Installations spécifiques à la préparation
des lanceurs ;
- Installations spécifiques à la préparation
des charges utiles ;
- Traitement des données de trajectogra-
phie ;
- Evaluation des moyens de trajectogra-
phie ;

Sauvegarde ;
Télémesures ;
Radiocompatibilité.
Mobiles réceptacles ;
Récupération ;
- Aérologie.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES.
Division des Relations Universitaires : 129,
rue de l'Université, 75-Paris-7^e. Tél. 551.49.39 -
Poste 470.

17^e ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE L'URSI Varsovie, 18-31 août 1972

Cette assemblée, qui se tient tous les trois
ans, réunira les délégués des Comités Membres
et un certain nombre d'observateurs invités.

Le Conseil de l'Union siègera dans le cadre
de l'Assemblée Générale et les Commissions
se réuniront

- Commission I : Mesures et étalons radio-
électriques
- Commission II : Radioélectricté et milieux
non ionisés
- Commission III : Ionosphère
- Commission IV : Magnétosphère
- Commission V : Radioastronomie
- Commission VI : Ondes et Circuits radio-
électriques
- Commissions VII : Radioélectronique
- Commissions VIII : Bruit radioélectrique d'ori-
gine terrestre.

Comité Organisateur de la 17^e Assemblée
Générale de l'URSI (Union Radioscientifique
Internationale) : Warszawa-POLOGNE PKiN
p 2321.

Bibliographie

ANNUAIRE 1971 DU SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE

Rédigé en 4 langues, cet annuaire comporte
7 parties :

- Le Syndicat Général, organisation de ses
services ;
- Institutions professionnelles, organismes
et groupements divers ;
- Syndicats et groupements affiliés ;
- Répertoire détaillé des fabrications ;
- Liste alphabétique des établissements ;
- Index des marques de fabrique ;
- Liste des annonceurs.

Société Auxiliaire de la Construction Elec-
trique : 13, rue Hamelin, 75-Paris-16^e.

PHYSIQUE ET CHIMIE

La publication annuelle de l'Union Amicale
des Elèves de ESPCI (Ecole Supérieure de
Physique et de Chimie Industrielle de la Ville
de Paris) : « Physique et Chimie » comportera
une série d'articles scientifiques qui traitera des
sujets suivants :

- Applications de la lumière cohérente
(18 articles) ;
- Centenaire de la naissance de Paul
Langevin ;
- La Créativité ;
- L'Europe scientifique et technique.

Son prix est de 40 FF.

Union Amicale des Elèves de ESPCI : 10
rue Vauquelin, Paris-5^e. Tél. 727.95.46.

PUBLICATION DU RAPPORT 440 CCIR

L'Union Internationale des Télécommuni-
cations annonce la publication du Rapport
440 CCIR (Symboles graphiques généraux pour
les radiocommunications 1971) comprenant
4 parties :

- Eléments de tubes électroniques, soupapes
et redresseurs ;
- Transducteurs ;
- Antennes, stations et postes radioélec-
triques ;
- Diagramme du spectre des fréquences.

UIT, Secrétariat Général : Place des Nations,
CH-1211 Genève 20 (Suisse).

OPTICAL PROCESSES IN SEMICONDUCTORS

par Jacques I. PANKOVE

(Les processus optiques dans les semiconduc-
teurs)

Cet ouvrage fondamental traite du sujet de
façon détaillée. Après des rappels complets et
à partir des relations fondamentales de méca-
nique et d'optique quantiques, il analyse quali-
tativement et quantitativement les processus
optiques qui prennent naissance dans les semi-
conducteurs : absorption, émission stimulée,
luminescence, émission laser, réflexion, etc.

PRENTICE-HALL Inc. : Englewood Cliffs,
New Jersey (USA).

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES RÉCENTES

DU CENTRE DE DOCUMENTATION DE L'ARMÉE

Etude expérimentale du sillage proche d'un
cône élané en incidence à $M_{\infty} = 7$, par
J. MARCILLAT

Contribution à l'étude de la fluidisation en phase
liquide. Cinétique et dynamique des lits fluidisés,
par C. GEBEL

Section « Diffusion du CEDOCAR » ; 4, ave-
nue de la Porte d'Issy, Paris-15^e.

PRINCIPLES OF PULSE CODE MODULATION

par K.W. CATTERMOL

(Les principes de la modulation
par impulsions codées)

Après un chapitre consacré au principe et à
l'histoire de ce type de modulation, l'auteur
étudie dans le détail l'échantillonnage, la quan-
tification et le codage. Cet ouvrage s'adresse
aux ingénieurs d'études et aux universitaires
désireux d'avoir une vue très complète de la
théorie de la modulation par impulsions codées.

Il comporte en outre une importante série
d'annexes.

LONDON ILIFFE BOOK LTD : 88 Kingsway,
London WC2.

PETITES ANNONCES

746-C — Cède collection ONDE ELECTRIQUE 1960 à
1972. S'adresser M. VINCENT, LIT. 84.93.

747-C

FUTUR DIRECTEUR COMMERCIAL

Société Française Composants Electroniques ayant 6 filia-
les étrangères et 3 licenciés (USA, Pologne, URSS), recher-
che UN INGENIEUR TECHNICO-COMMERCIAL de
classe, pour succéder au Directeur Commercial dans 3 ans
et contribuer à poursuivre le développement des Produits
et des Marchés. Il faut impérativement :

- Etre INGENIEUR ESE ou ECOLES ELECTRONI-
QUES ;
- Etre « VENDEUR », mais avoir du goût pour la
Technique, la notre et celle de nos clients (en deviner l'évo-
lution) ;
- Avoir des notions des techniques commerciales mo-
dernes ;
- Pouvoir voyager 50 % du temps ;
- Etre parfaitement bilingue anglais (allemand, espa-
gnol appréciés) ;
- Avoir 28 ans minimum, nationalité indif.
- Enfin de préférence avoir une certaine expérience
technique (Radio-Télé).

Env. lettre man., C.V., photo, prêt. ss réf. OE. Réponse
à ttes les candidatures.

MESURES SUR LES TRANSISTORS

PAR

H. ARCISZEWSKI

*B.Sc. (Eng.) Université de Londres, C.Eng., M.I.E.E., A.M.I.E.R.E.
actuellement responsable du programme d'industrialisation
des composants haute fiabilité, au CNES-Toulouse*

préface
de

J. ELDIN

*Ingénieur en Chef des Télécommunications
Directeur du Centre de Fiabilité du C.N.E.T.*

Un ouvrage de 700 pages 16 × 24,5 cm, relié pleine toile, 595 schémas, 711 courbes, 53 tableaux. Description d'environ 230 méthodes de mesure détaillées portant sur plus de 130 paramètres de transistors. Prix : 86,60 F + frais d'envoi : 3,40 F = 90,00 F franco.

— ÉDITIONS CHIRON - 40, rue de Seine, PARIS VI^e - CCP PARIS 53-35 —

DALE®

**annonce la
ligne la plus avancée
de résistances
à couche métallique
... disponible
dès maintenant
à des prix compétitifs.**

Coefficient de température aussi bas que 10 ppm.

10 ppm/°C pour les puissances de 1/10 à 1/2 Watt. (de 0° à 80°C), de 100 à 400 K Ohms.

Des gammes encore plus étendues en 15 et 20 ppm. Une ligne complète de 26 modèles disponibles à 25 ppm (55°C à 175°C) pour des valeurs de 15 Ohms à 5,11 MΩ.

Des tolérances aussi faibles que 0,01 %

de 1/10 à 1/2 Watt avec des valeurs allant de 49,9 Ohms à 2 MΩ. Fabriquées suivant la ligne de fiabilité établie (MIL-R-55182).

Des valeurs allant de 1 Ohm à 1800 MΩ ;

de 1/10 à 1/2 Watt = 1 Ohm (150 ppm)

de 1/4 W à 5 Watts = de 80 MΩ à 1800 MΩ (1000 ppm)

de 1/10 W à 1/2 Watt = 50 MΩ (150 ppm).

Une puissance aussi importante que 10 Watts.

Les familles enrobées ou moulées (5,557 cm de L. 0,952 cm de diamètre) délivrent 10 Watts à 25°C et 5 Watts à 70°C ; elles permettent plus de puissance dans un espace moindre, une excellente stabilité et un contrôle du coefficient de température.

almex

110, RUE PIERRE BROSSOLETTE
92 - CHATILLON-SOUS-BAGNEUX
TELEX 28 823 EXT. 467

645 02-40

PUBLICITÉ DE L'ONDE ÉLECTRIQUE

EXCLUSIVITÉ R. DOMENACH

161 BD SAINT-GERMAIN — PARIS-6° — TÉL. 222.41.97 ET 41.98



INDEX DES ANNONCEURS

	Pages		Pages
ADRET	XXIV	PHOTOGAY	IV
ALCATEL	4° c.	QUARTZ & ELECTRONIQUE	XXII
ALLCO	XIX	RCA	X-XI
ALMEX	XXIX	RTF	VI-XII
BUREAU DE LIAISON	VII	SALIES	XXVI
CEPE	XX	SCHLUMBERGER	XXVII
COMELIM	IX	SCHLUMBERGER-CRC	XXI
COREL	XII	SCHNEIDER	1 ^{re} c.
FERISOL	2° et 3° c.	SECRE	V
GENERAL INSTRUMENT	IV	SESCOSEM	II
GENERAL RADIO	XIII	SILICONIX	VIII
HEWLETT-PACKARD	XV	SPI-ITT	XXIII
KOVACS	VI	TELEC	XIV
LTT	XX-XXII	TEKTRONIX	XXV-XXVIII
PHILIPS INDUSTRIE	XVII-XVIII	WESTINGHOUSE ELECTRIC	XVI

Sommaire de l'Onde Electrique, n° 52-6, juin 1972

(sous réserve de modifications de dernière heure)

- Gestion d'un organisme public d'études et de recherche : quelques réflexions sur une expérience en cours, H. BUSTARRET, J.C. MERLIN.
- L'évolution des caméras de télévision, L. GOUSSOT (ORTF).
- Principes des caméras monotubes, M. FAVREAU (Thomson).
- L'évolution des tubes images en télévision couleur, M. CHAUVIERRE.
- Evolution de la luminescence de composés monocristallins semiconducteurs sous bombardement électronique, R. GAUTHIER, P. PINARD, F. DAVAINÉ (INSA Lyon).
- Nouvelle présentation de l'approximation du premier harmonique pour les systèmes non linéaires à paramètre distribué, G. JUMARIE (Univ. Québec).
- Les modulateurs delta auto-adaptatifs, M. VILLERET, P.A. DESCHENES, H. STEPHENE (Univ. Sherbrooke).

Thèmes prévus pour les numéros à venir

- Fasc. 6 - juin 1972 : numéro spécial « Tubes et caméras de prise de vue de TV ».
- Fasc. 9 - octobre 1972 : numéro spécial « Colloque Electronique et aviation civile ».
- Fasc. 10 - novembre 1972 : numéro spécial « Mémoires ».
- Fasc. 1 - janvier 1973 : numéro spécial « Colloque Télécommunications numériques par satellites ».
- Fasc. 3 - mars 1973 : numéro spécial « Métrologie et instrumentation ».

Un vrai minifréquencemètre universel du continu à 50 MHz, 7 chiffres significatifs...

... le HB 211
à circuits intégrés



hauteur : 2 U
largeur : 1/2 rack

**ATTENTION ! du nouveau
sur le HB 211 :
OPTION 100 MHz DIRECT**

HB 211, dernier né de la famille des MINI-FRÉQUENCEMÈTRES type HB FERISOL, couvre une plage de mesures effective s'étendant du continu jusqu'à 50 MHz.

Le spectre d'applications est donc très vaste. Outre sa fréquence maximale peut être portée à 100 MHz avec le COMPTEUR-DIVISEUR type HB 211, la plage de mesures effective s'étend du continu à 100 MHz à porte interne synchrone.

Un avantage important : le HB 211 possède 7 chiffres significatifs, ce qui permet d'effectuer des mesures avec le maximum de précision. L'affichage des résultats est mémorisable.

En outre, le HB 211 est multifonctions : mesures de fréquences, rapports et multirapports de fréquences, périodes, multipériodes, etc... il

peut être utilisé en compteur-totalisateur, chronomètre, standard de fréquences, diviseur de fréquences.

Le HB 211 peut être équipé soit d'un pilote 5 MHz (1.10^{-6} /semaine), soit d'un pilote 10 MHz en option (5.10^{-8} /mois). Sur option également, est prévue une sortie BCD 1-2-4-8 pour imprimante, par exemple la BG 310 miniature Ferisol, à 12 colonnes, 2 lignes/s.

Simple à manipuler, le HB 211 offre en plus une très grande sûreté d'emploi. En effet, afin d'éviter toute incompatibilité de mesures et toute erreur possible d'interprétation, il est équipé de voyants de contrôle : "Hors-Gamme" - "Dépassement" - "Comptage".

Encore un détail : le HB 211 est associable à un autre fréquencemètre du type HB, soit en série (augmentation de la capacité de comptage), soit en parallèle (mesures synchrones).

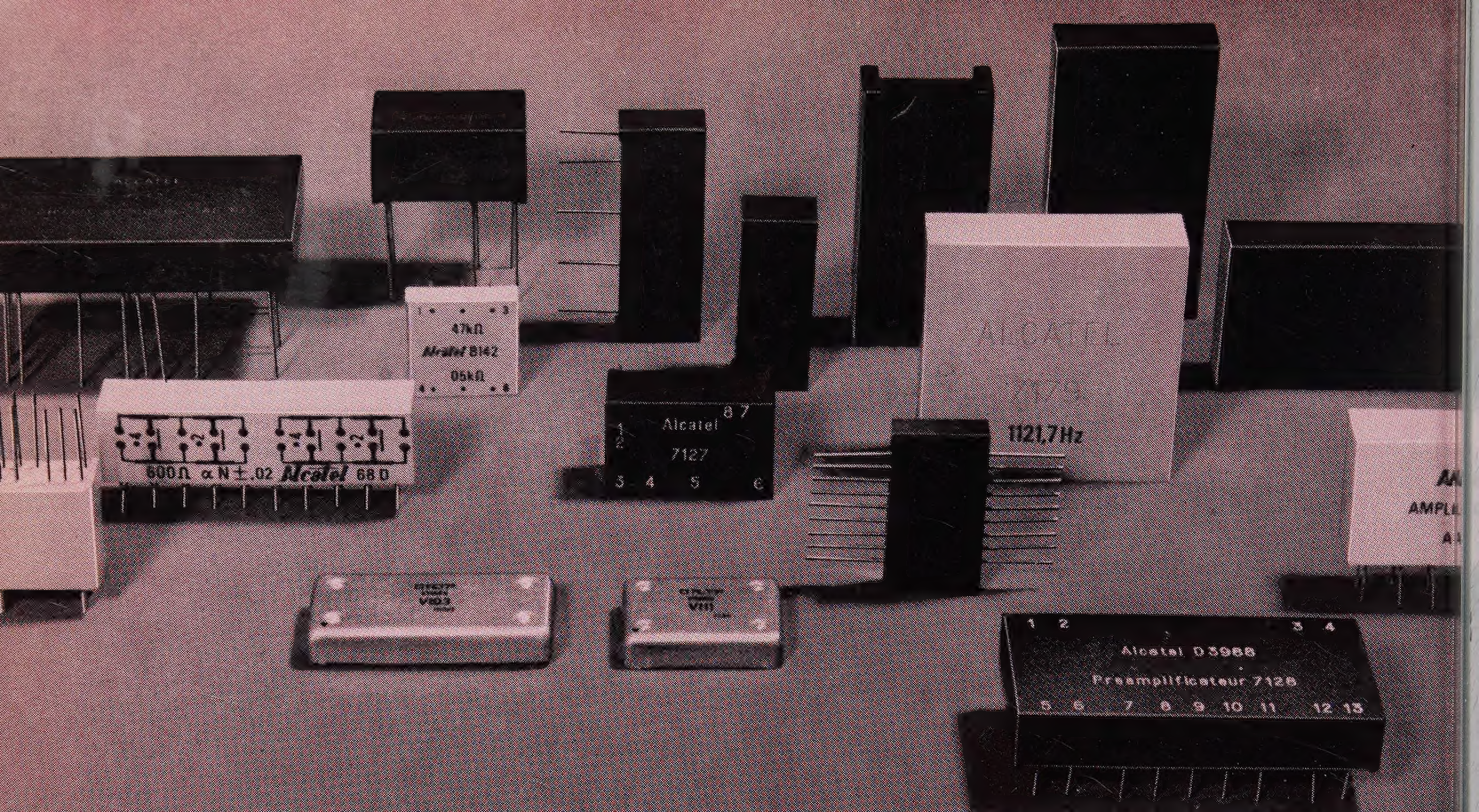
Et puis il est si petit... si petit... qu'il se fera oublier dans vos montages - Pensez-y !

Documentation complète franco sur demande.

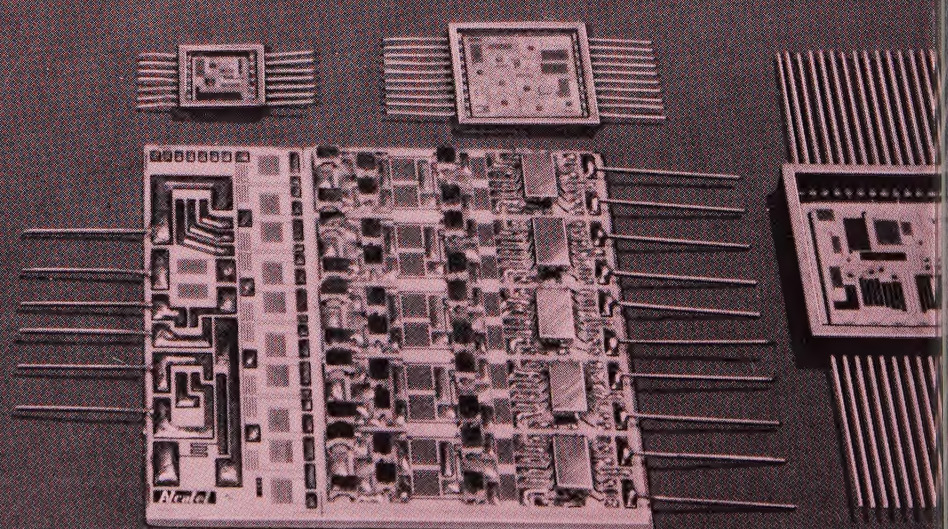
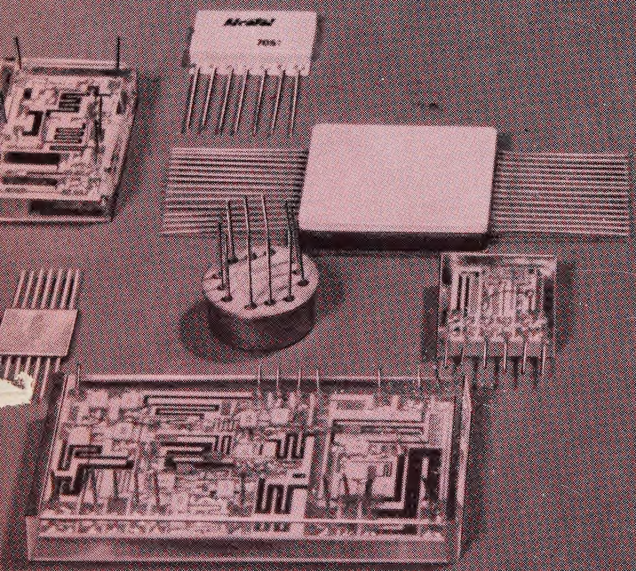
Ets GEFROY & Cie
S. A. Cap. 13 153 000 F



18, avenue Paul Vaillant - Couturier - 78 - TRAPPES
Tél. : 462-88-88 - Téléc. : 25 705 - Câble : Feritrappes
Délégations régionales : LYON, RENNES, TOULOUSE
Bureaux techniques : MILAN - MUNICH



**circuits intégrés
hybrides
en
COUCHES
MINCES
SUR MESURE.**



MICROELECTRONIQUE
1 AVENUE ARISTIDE-BRIAND 94 ARCUEIL TEL.: 253.92.00
TELEX : ALCATEL 25675 F