

Variété des problèmes posés à un Laboratoire d'Electrotechnique attaché à une Faculté de Médecine

Autor(en): **Richez, M.J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **05.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916119>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Variété des problèmes posés à un Laboratoire d'Electronique attaché à une Faculté de Médecine

Conférence, donnée à la 31^e Journée de la haute fréquence de l'ASE, le 18 novembre 1968 à Berne

par M. J. Richez, Genève

2681 - 2686

621.317.2:621.38:615.475

Une collaboration intense entre médecine et électronique est nécessaire dans certains domaines de la recherche médicale. Ce besoin s'est concrétisé à Genève par la création d'un Laboratoire d'Electronique attaché à la Faculté de Médecine. Les services demandés à ce laboratoire sont très variés, de la construction d'une petite boîte de couplage entre deux appareils, au développement d'appareils spéciaux destinés à une recherche de pointe. Le Laboratoire est aussi sollicité pour des achats d'instruments. Cet article décrit quelques exemples de réalisations destinés à montrer la variété des problèmes posés et comment se fait la jonction entre médecine et électronique d'un point de vue pratique.

Auf gewissen Gebieten der ärztlichen Forschung ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen der Medizin und der Elektronik erforderlich. Diese Forderung führte in Genf zur Schaffung eines elektronischen Laboratoriums, das der medizinischen Fakultät angeschlossen ist. Dieses Laboratorium leistet recht vielfältige Dienste, die sich von der Konstruktion einer kleinen Kupplung von zwei Geräten bis zur Entwicklung von speziellen Apparaturen für Spitzenforschungen erstrecken. Das Laboratorium wird auch für den Ankauf von Instrumenten beansprucht. Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben einige Ausführungsbeispiele, welche die Vielfalt der auftauchenden Probleme und die gegenseitigen Beziehungen der Medizin und der Elektronik in der Praxis erläutern.

Buts du laboratoire

Un laboratoire d'Electronique attaché à une Faculté de Médecine a pour but principal d'aider à la recherche médicale en développant des équipements électroniques pour les différents laboratoires et instituts de la Faculté. Il joue également le rôle de centre de renseignements pour l'achat de nouveaux instruments.

Création d'un laboratoire d'électronique

Dans une Faculté de Médecine, la recherche en physiologie, cardiologie, ophtalmologie, électroencéphalographie, myographie, dépend énormément de l'emploi de l'électronique. Ce sont les directeurs de ces laboratoires et instituts — généralement les plus intéressés à la création d'un laboratoire d'électronique — qui entreprennent les démarches auprès des autorités pour obtenir les crédits nécessaires. C'est ainsi que fut créé à Genève en 1965 le Laboratoire d'Electronique de la Faculté de Médecine de Genève, grâce à l'appui de quelques professeurs.

Pour pouvoir traiter la plupart des problèmes qui se présentent, le personnel travaillant au Laboratoire doit avoir principalement une connaissance de l'électronique analogique. Il y a, bien sûr, également les problèmes digitaux classiques à résoudre (par exemple, codage d'un compteur à décades pour l'attaque d'une imprimante), mais ceux-ci sont actuellement assez simples et ne nécessitent pas une connaissance approfondie de l'électronique digitale. Il est aussi nécessaire de très bien connaître les circuits d'impulsions et les problèmes posés par les amplificateurs de basse fréquence à faible niveau d'entrée. Il faut être souple d'esprit et saisir rapidement un problème exposé pour la première fois sur lequel l'interlocuteur a eu le loisir de réfléchir longtemps; et savoir garder sa bonne humeur après avoir été requis pour un appareil en panne qui n'avait qu'un bouton mal orienté!

Un petit nombre d'instruments de mesure forme l'équipement du Laboratoire d'Electronique. Dans la plupart des cas, une instrumentation de base tout à fait classique est suffisante: oscilloscope, voltmètre à lampe, voltmètre et fréquence-mètre digitaux, un générateur simple et quelques alimentations stabilisées. Pour les cas spéciaux, il est préférable

de construire soi-même le générateur de signaux nécessaire. La création et le maintien d'un stock de pièces détachées très complet, bien organisé et ne comportant que peu d'unités de chaque article, est très important pour un petit laboratoire. La disponibilité immédiate de matériel facilite la création rapide de nouveaux appareils sans dépendre de délais de livraison excessifs.

Fonctionnement du laboratoire

Etant seul de son espèce, l'électronicien dans une Ecole de Médecine n'a pas la possibilité, comme il pourrait le faire dans l'industrie, de rencontrer chaque jour des collègues avec lesquels il peut discuter de ses difficultés techniques et apprendre de vive voix les dernières informations concernant sa profession. Il doit se maintenir au courant tout seul, dans un domaine nouveau de l'électronique, lire beaucoup et amasser une documentation importante. Cette documentation fait jouer au Laboratoire le rôle d'un centre de renseignements où chacun vient demander des conseils avant d'acheter un appareil. La comparaison de deux instruments, faite non seulement sur la base des données techniques et de l'aspect extérieur, mais, si cela est possible, en examinant la construction intérieure, est parfois bien instructive concernant le sérieux d'une maison et sa politique de prix! Si nous ne trouvons pas sur le marché ce qui convient à l'expérience envisagée, nous construisons l'appareil nécessaire, à condition que ce soit dans les possibilités du Laboratoire.

L'élaboration d'un nouvel ensemble électronique est souvent suscité par une publication faite sur un sujet voisin de celui à étudier. Il s'agit souvent d'une publication décrivant un ensemble que le chercheur désire reproduire. Il aura ainsi une instrumentation de départ grâce à laquelle il pourra comparer ses résultats avec ceux qui sont publiés. Comme il s'agit assez souvent de publications étrangères, l'instrumentation décrite peut être, par exemple, intégralement de provenance américaine. Nous avons souvent de la peine à convaincre celui qui vient nous consulter qu'il pourra s'en tirer à meilleur compte en achetant une instrumentation de provenance différente et qu'il obtiendra exactement les mêmes performances.

Le Laboratoire d'Electronique remplit un peu les fonctions d'une plaque tournante: En venant chercher des renseignements, dans la conversation, le chercheur sera aiguillé vers une solution électronique différente de celle primitivement envisagée. L'un bénéficiera des développements déjà effectués par un autre et parfois nous chercherons à unir ceux qui pourraient être intéressés au développement commun d'un nouvel instrument.

Lorsqu'il s'agit d'électronique, médecins et ingénieurs ont parfois de la difficulté à se comprendre. Il existe des mots du langage médical qui ont leur équivalent dans le langage électrique, comme, par exemple, le mot «artefact» employé très couramment et qui signifie «signal parasite». Le physiologiste parlera de «potentiel d'action» par opposition à «potentiel de repos» chaque fois qu'il verra un signal rapide apparaître sur son oscilloscope. Une onde sera de «haute fréquence» lorsqu'elle sera de 5 kHz. Les conventions sur la polarité des signaux sont parfois inversées. En cardiologie, en myographie, un signal sera représenté avec son extrémité négative orientée vers le haut. Nous avons même vu une fois un générateur d'impulsions muni d'une borne noire et d'une borne rouge: la borne noire fournissait des impulsions négatives par rapport à la borne rouge qui était reliée à la masse!

Jusqu'à quel point un chercheur en médecine a-t-il besoin de connaître les détails de la technique électronique? Est-il nécessaire pour lui de distinguer un transistor pnp d'un transistor npn? Dans certaines universités américaines, les médecins peuvent suivre des cours d'électronique détaillés où ils apprennent, par exemple, la différence entre une triode et une pentode. Nous pensons que des cours si détaillés n'apportent pas grand-chose d'utile à un chercheur qui a déjà à mémoriser tant d'informations dans le domaine médical. On imagine mal le médecin recherchant ensuite dans les catalogues la pentode ayant la caractéristique la plus adéquate et procédant ensuite lui-même au montage!

Nous pensons qu'un échange d'informations très efficace peut exister entre médecins et ingénieurs, sans dépasser le stade du schéma équivalent ou du schéma-bloc. C'est au laboratoire, en mettant au point ensemble des expériences, et par les dialogues qui s'en suivent que le médecin approfondit l'emploi correct de ses appareils et qu'il fait mieux comprendre ses besoins à l'électronicien. Le médecin apprend à connaître, par exemple, toutes les finesses de l'emploi d'un oscilloscope et rectifie lui-même les fausses manipulations: synchronisation sur la fausse polarité, emploi d'un tiroir amplificateur de bande passante insuffisante, etc. Il recherchera les causes d'induction à 50 Hz si fréquentes dans les systèmes d'amplification à faible niveau. Peu à peu, il acquerra le sens de ce qui est possible ou impossible en électronique.

Notre Laboratoire doit résoudre beaucoup de problèmes d'interconnexion d'appareils. Il faut expliquer au médecin que de connecter deux appareils entre eux n'est pas si facile qu'on le croirait au premier abord. On ne connecte pas impunément un générateur à lampes donnant des impulsions de synchronisation de 50 V sur l'entrée d'un appareil à transistors! Les paramètres de polarité, amplitude, impédance et temps de montée étant correctement adaptés, il faut parfois également transmettre la composante continue d'un signal si l'on traite des fréquences de l'ordre du Hertz. Certains amplificateurs ont une bande passante ajustable; il faudra

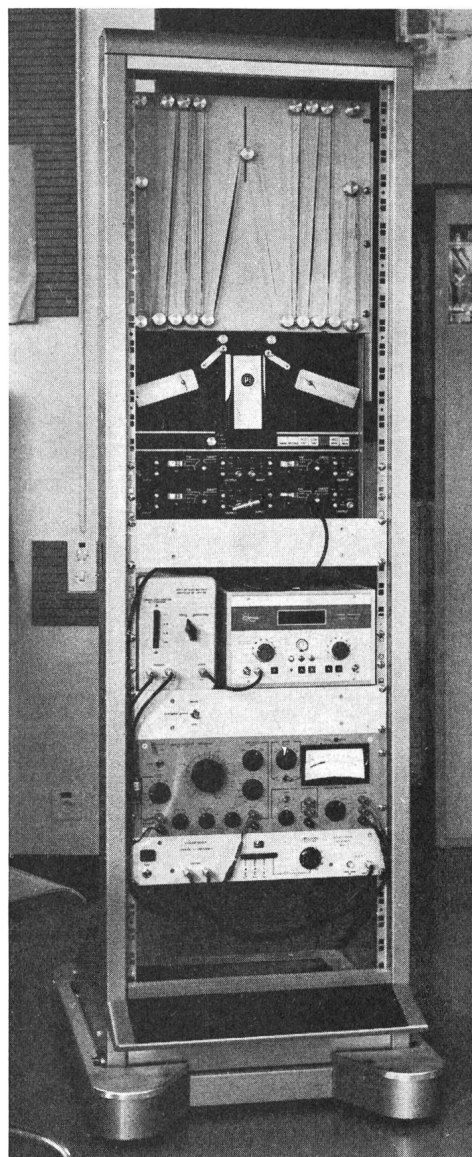


Fig. 1
Analyseur de spectre formé d'un assemblage d'instruments commerciaux et d'instruments construits au Laboratoire

De haut en bas: Dérouleur de bande magnétique sans fin — Enregistreur magnétique à modulation de fréquence — Compteur digital avec sa boîte de contrôle — Panneau de mise en route — Amplificateur à battement — Convertisseur amplitude-fréquence

expliquer comment ces ajustements en fréquence vont modifier la forme du signal amplifié. La période qui suit l'achèvement d'un prototype favorise les contacts fréquents entre le médecin et l'ingénieur: Après avoir fonctionné pendant une période d'essai, l'appareil reviendra au Laboratoire d'Electronique, faisant peut-être la navette plusieurs fois, pour subir des améliorations.

Réalisations

Les travaux demandés à un Laboratoire d'Electronique attaché à une Faculté de Médecine sont très variés. Pour en donner une idée, nous décrirons, sans entrer dans les détails, un choix de réalisations effectuées par notre Laboratoire depuis quatre ans.

L'analyseur de spectre de la fig. 1 est l'exemple d'un assemblage d'instruments commerciaux et d'instruments construits au Laboratoire, de type digital et analogique. Pour réunir ces appareils de provenances diverses dans le même bâti, nous avons eu quelques problèmes d'adaptation de ni-

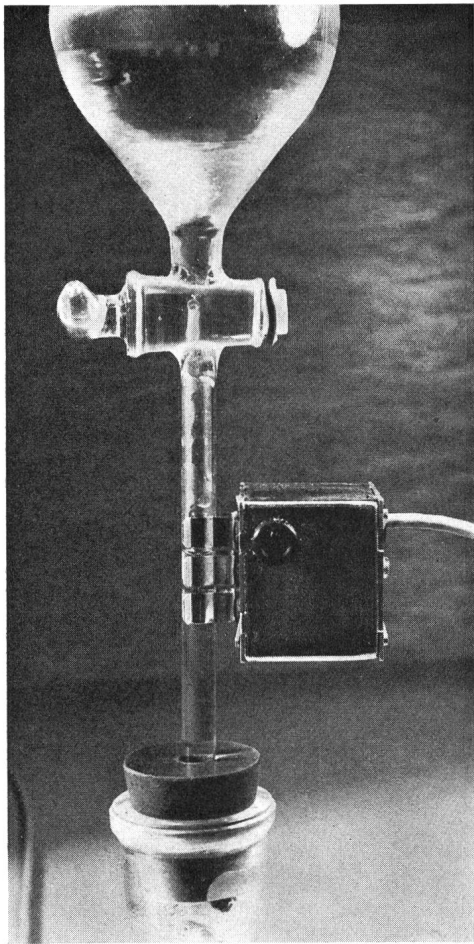


Fig. 2
Détecteur de proximité

Le passage de liquide dans le tube de verre provoque une variation de la capacité entre les clips de fixation

veau et d'impédance des signaux d'entrée et de sortie des différents appareils.

Le signal à analyser peut être, par exemple, prélevé au moyen d'électrodes placées sur la surface crânienne d'un sujet soumis à une stimulation lumineuse. Ce signal est enregistré sur un enregistreur magnétique à modulation de fréquence. On forme une boucle sans fin avec les parties intéressantes de la bande magnétique enregistrée et c'est la lecture de cette boucle qui nous donne le signal destiné à l'analyse.

Un laboratoire d'électronique est parfois sollicité pour construire une partie d'appareil dont le prix est trop élevé. C'est le cas du dérouleur à bande sans fin que l'on voit en haut de la fig. 1.

Pour analyser un spectre de fréquences s'étendant de 1 à 50 Hz, nous avons employé un amplificateur à battement (appareil commercial «lock-in amplifier»). Cet appareil produit un battement entre le signal à analyser et une onde sinusoïdale dont la fréquence est choisie par l'expérimentateur. La fréquence de ce battement (différence de fréquence entre l'onde à analyser et l'oscillateur à fréquence fixe) est très lente puisque les deux ondes en présence sont elles-mêmes de fréquence très basse; on arrive souvent à des périodes de battement de plusieurs secondes.

La mesure de l'amplitude du battement se fera par intégration sur plusieurs périodes pendant une durée fixe qui peut être choisie de 20, 50 ou 100 s. Comme il est difficile

d'intégrer avec précision sous forme analogique pendant de longues périodes, nous avons choisi une méthode d'intégration digitale. Le signal de battement est envoyé dans un convertisseur amplitude-fréquence (construit par notre Laboratoire) qui fournit des impulsions dont le nombre par unité de temps est proportionnel à l'amplitude du signal qu'il reçoit. Ces impulsions sont comptées pendant une période fixe par un compteur digital (appareil commercial modifié pour obtenir des temps d'ouverture de porte jusqu'à 100 secondes). La lecture de ce compteur donne donc une intégration de l'amplitude du contenu de la bande magnétique pour une fréquence déterminée. Cette méthode est lente puisqu'il faut attendre 50 ou 100 s avant d'obtenir un point de lecture, mais elle a l'avantage d'une grande sélectivité: par exemple, pour une fréquence de 21 Hz, la largeur de bande est de 0,28 Hz à -6 dB et de 1 Hz à -20 dB.

Après avoir construit cet analyseur de 2 m de haut, notre Laboratoire a été sollicité pour la construction d'une toute petite boîte de $3,6 \times 3,6 \times 3$ cm de côté: un détecteur de proximité. Cet appareil sert à détecter le passage de liquide radioactif dans un tube de verre sans contact avec le liquide. Le principe de fonctionnement d'un tel appareil est bien connu: la variation de capacité entre les clips de fixation provoquée par le passage de liquide désaccorde un circuit oscillant. La fig. 2 montre que nous nous sommes efforcés de construire un appareil miniature.

Certaines expériences effectuées en médecine utilisent un appareillage qui a besoin d'être stabilisé en température à 37°C . Dans le circuit de stabilisation d'un corps de chauffe, il faut veiller à employer un circuit qui ne fasse pas de perturbations sur l'appareillage électrique sensible placé près du champ du microscope, par exemple un amplificateur pour microélectrodes. On peut alimenter le corps de chauffe à travers un thyristor, à condition d'employer un circuit qui allume le thyristor toujours au moment où la tension à ses bornes passe par zéro. Il est cependant bien préférable d'employer un circuit de réglage qui n'utilise que des tensions quasi-continues.

En ce qui concerne les signaux électriques parasites apparaissant à l'entrée d'un amplificateur sensible placé à proximité d'un microscope, c'est la lampe du microscope elle-même qui est la principale source de rayonnement parasite à 50 Hz. Il est donc nécessaire d'alimenter cette lampe en continu, et même de stabiliser la tension s'il s'agit de faire des mesures régulières d'intensité lumineuse. La construction

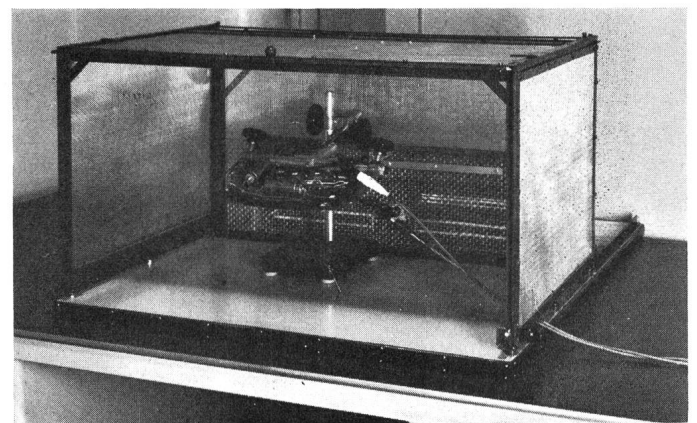


Fig. 3
Cage de Faraday à moitié ouverte

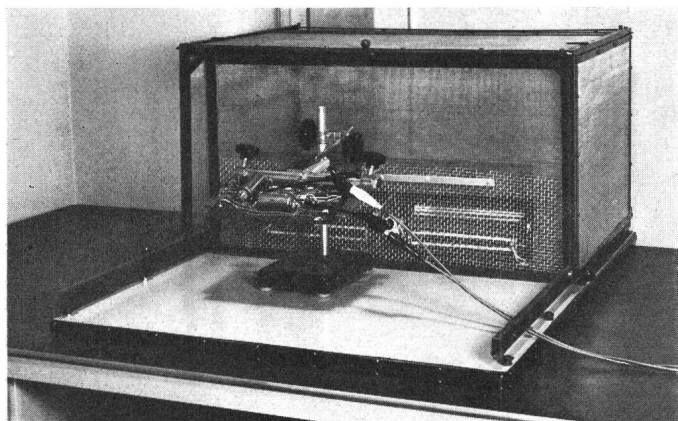


Fig. 4
Cage de Faraday entièrement ouverte
Le circuit à l'étude est complètement dégagé

d'une alimentation stabilisée (6 V, 5 A) dans ce but nous a posé un problème particulier: La résistance à froid du filament d'une lampe de puissance est tellement petite ($< 0,1 \Omega$) qu'elle équivaut à un court-circuit. Il faut donc prévoir un circuit de démarrage amenant le filament de la lampe à la température nécessaire avant que le système de réglage en tension puisse entrer en fonction.

Pour se protéger des perturbations dues à des sources extérieures, haute fréquence ou secteur, les expérimentateurs (en cardiologie, électroencéphalographie, myographie, physiologie notamment) enferment leur sujet d'expérience dans une cage de Faraday. Parfois cette cage est de grandes dimensions, plusieurs dizaines de mètres carrés, et plusieurs personnes peuvent s'y tenir, entourées d'une quantité d'appareils. Des filtres sur les arrivées secteur suppriment tout rayonnement haute fréquence provenant de l'extérieur de la cage. Mais il faut alimenter les appareils placés à l'intérieur de la cage! Et c'est un travail qui demande beaucoup de patience que de blinder, l'un après l'autre, tous les points «chauds» des appareils qui rayonnent du 50 Hz. Il est surprenant de voir comme un fil de quelques centimètres de long injecte sur l'entrée à 10 M Ω d'un amplificateur placé à deux mètres de distance un signal parasite de plusieurs dizaines de microvolts.

La chasse aux sources perturbatrices se fait systématiquement: Suppression des éclairages à tubes fluorescents, mais emploi de lampes à incandescence recouvertes d'un grillage; les lampes-témoins au néon sont remplacées par des ampoules alimentées en continu; les porte-fusibles doivent être blindés. Le blindage des cordons secteur est double; le blindage intérieur est relié à la cage du côté de la fiche secteur et à

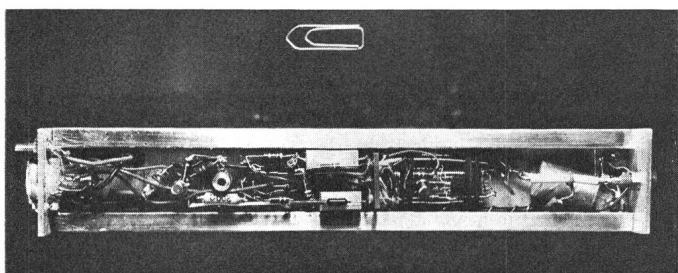


Fig. 5
Amplificateur pour microélectrodes

A droite, le tube électromètre suspendu dans des anneaux de caoutchouc pour éviter la microphonie. Le boîtier est très allongé, ce qui ne gêne pas l'opérateur travaillant dans le champ d'un microscope

la masse de l'appareil de l'autre côté. La capacité entre primaire et secondaire du transformateur d'alimentation de l'appareil fait circuler un courant parasite dans ce premier blindage qui est suffisant pour rayonner du 50 Hz sur les amplificateurs sensibles. Il est nécessaire de recouvrir ce premier blindage d'un second blindage qui, lui, n'est relié qu'à la masse de la cage. Les fiches secteur sont elles-mêmes soigneusement blindées. On supprime ainsi une des plus importantes sources de rayonnement à 50 Hz à l'intérieur d'une cage de Faraday.

Cependant, lorsque le signal utile est très petit, de l'ordre de 10 μV , ou plus petit, il est noyé dans un bruit de fond important provenant des amplificateurs et du type d'électrodes employées ainsi que dans un signal parasite à 50 Hz. Pour extraire le signal utile, nous avons employé des méthodes d'addition du signal par l'emploi d'appareils «moyennés» (average computers).

Au Laboratoire d'Electronique, lorsque nous développons un nouvel appareil, les perturbations du secteur sont tellement gênantes que nous avons construit une petite cage de Faraday rétractable particulièrement destinée à l'essai de circuits en cours de développement. Un couvercle placé sur

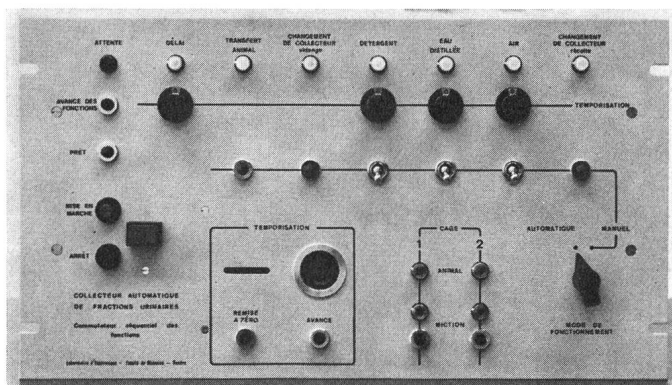


Fig. 6
Programmation pour une cage métabolique

En haut, de gauche à droite les fonctions à effectuer. En dessous, des boutons affichant le nombre de minutes destinées à chaque fonction. En bas, dans le cercle, un tube nixie indique le nombre de minutes écoulées pour chaque fonction

le dessus se rabat vers l'avant pour fermer la cage. Lorsque la cage est à moitié ouverte (fig. 3) les parois latérales et le dessus peuvent être repoussés ensemble en direction du fond, libérant ainsi complètement le circuit en cours d'étude (fig. 4). Comme les parois de cette cage sont en treillis obturé par une matière plastique, donc étanche à l'air, nous pouvons nous servir de cette cage pour faire des essais de glissement en température sur les circuits en construction. Dans la paroi du fond, un ventilateur radial souffle de l'air chaud dont la température contrôlée par thermistance peut être programmée pour les essais de «cyclage». La température progresse ou régresse par bonds de 5 $^{\circ}\text{C}$ toutes les 5 ou 10 min (à choix) entre la température ambiante et un maximum de 50 $^{\circ}\text{C}$.

C'est à l'aide de cette cage que nous avons construit, notamment, un amplificateur pour microélectrodes. Une microélectrode est formée à partir d'un tube de verre capillaire étiré à chaud jusqu'à la rupture. La pointe obtenue a un diamètre de l'ordre de 0,5 microns. Cette électrode est rendue conductrice en la remplissant avec une solution salée. La

mince colonne de liquide conducteur à l'intérieur de l'électrode est très résistante et atteint des valeurs comprises en moyenne entre 20 et 50 M Ω . Le problème posé à l'électronicien est double: Tout d'abord, un problème technologique consistant à choisir un élément amplificateur à très faible courant d'entrée; en effet, une pentode courante ayant un courant de grille de 10^{-7} A produirait un décalage du signal d'entrée de 2 V pour une électrode de 20 M Ω ! Un tube électromètre, par contre, avec un courant de $2,5 \cdot 10^{-13}$ A donnera une chute de tension de 5 μ V. Après avoir construit un amplificateur à tube électromètre (fig. 5), nous venons de construire un nouveau modèle avec un transistor à effet de champ à l'entrée pour lequel le glissement en température peut être compensé.

La deuxième difficulté consiste à passer les fréquences «hautes», c'est-à-dire supérieures à un kilocycle. Si la capacité d'entrée de l'amplificateur est de 10 pF et la résistance de l'électrode de 20 M Ω , nous avons une constante de temps de 200 μ s. Cette perte dans les fréquences hautes est compensée par une réaction positive «à capacité négative» du même genre que celle employée en télévision pour compenser la perte de définition des tubes-images. Par cette mesure, et une augmentation du gain de l'amplificateur aux hautes fréquences, le temps de montée est réduit à 22 μ s, ce qui permet de passer un spectre de fréquence plat du continu à 10 kHz.

Dans le domaine des impulsions, on nous demande parfois des générateurs avec des caractéristiques particulières. Destiné à un usage médical, un générateur d'impulsions est appelé «stimulateur» et comporte souvent une sortie à courant constant.

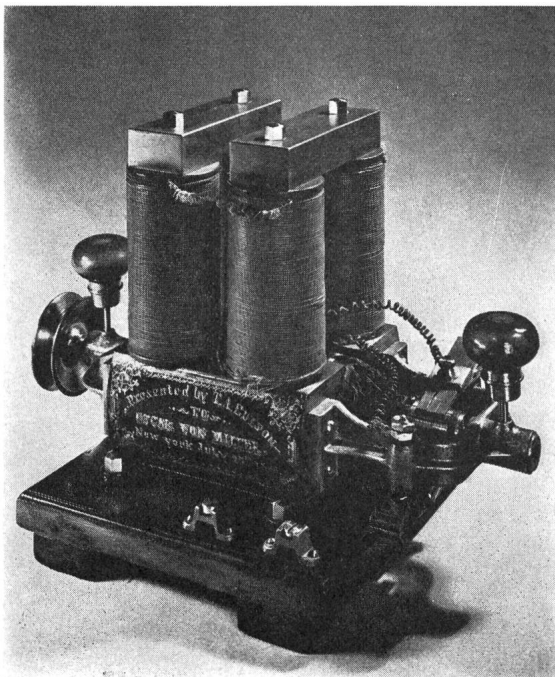
Une autre famille d'appareils est celle des appareils destinés à programmer un ensemble de fonctions: commande

d'une caméra pour prises de vue automatiques sur microscope, programmes pour imprimantes, déclenchements d'un stimulateur d'une caméra et d'un oscilloscope pour une expérience de longue durée. La fig. 6 montre une unité destinée à programmer le changement de cage d'un animal dont on mesure le métabolisme. Si l'animal se trouve placé dans la cage N $^{\circ}$ 1 et fait une miction, le passage de son urine dans un tuyau détecté par le détecteur de proximité déjà décrit déclenchera une suite d'opérations: temps d'attente, transfert de l'animal dans la cage N $^{\circ}$ 2, lavage de la cage au détergent puis à l'eau distillée et ensuite séchage à l'air chaud de la cage N $^{\circ}$ 1. La durée de chaque opération peut être modifiée à volonté. Certains circuits de sûreté sont prévus, par exemple pour éviter une douche à l'animal! Il a fallu également prévoir un circuit de mémoire qui commande un second cycle d'opérations au cas où l'animal urinerait dans la cage N $^{\circ}$ 2 alors que le premier cycle d'opérations n'est pas terminé. Nous avons essayé de dessiner pour cet appareil un panneau frontal le plus explicite possible.

Ces quelques exemples de travaux effectués par notre Laboratoire présentent un échantillonnage des problèmes d'électronique surgissant au sein d'une Faculté de Médecine. Pour pouvoir faire face à cette variété de problèmes qui demandent la connaissance de plusieurs aspects de l'électronique, les membres du Laboratoire sont obligés de se maintenir activement au courant des nouveaux développements en électronique pure et en électronique médicale. Cette constante recherche de l'information dans un domaine changeant rend ce travail absorbant mais aussi particulièrement intéressant.

Adresse de l'auteur:

M. J. Richez, Directeur du Laboratoire d'Electronique de la Faculté de Médecine, Université de Genève.



Deutsches Museum, München

EIN BLICK ZURÜCK

Motor von Edison, 1884

Dieser kleine Elektromotortyp, den 1885 *Edison* dem Gründer des Deutschen Museums, *Oskar von Miller*, schenkte, hat ganz erheblich dazu beigetragen, die Technik zu wandeln. Es waren dies die ersten Elektromotoren mit der Bestimmung, an ein elektrisches Verteilernetz angeschlossen zu werden. Es war also nicht eine Kraftübertragung im alten Sinn, wo eine Dynamomaschine einen einzigen, entfernt von ihr aufgestellten Motor betrieb, sondern hier sollte von einer Zentralstation aus elektrische Energie für eine beliebige Anzahl von Elektromotoren für beliebige Leistungen geliefert werden. Heute erscheint dies so selbstverständlich, dass man sich nicht mehr vorstellen kann, was das damals bedeutete.

Zentralstationen für die Energieversorgung gab es damals allerdings bereits: Die Gaswerke, Presswasser, wie in Zürich, Druckluft, wie in Paris, und Dampf für Kleindampfmaschinen in New York, gleichzeitig mit der ersten Zentralstation *Edisons*. Alle diese Quellen zur Versorgung mit Energie von einer zentralen Stelle aus sind bis auf einige Sonderfälle verschwunden. Es hat jedoch noch bis in unser Jahrhundert hinein gedauert, bis sich der Elektromotor endgültig durchgesetzt hat.

A. Wissner