

rompre le silence dès que la conversation s'orientait sur les finances de la Section. Il assistait régulièrement aux Assemblées. Il y a quelques années, il fut élu membre d'honneur de la Section genevoise de l'USKA, reconnaissance bien méritée.

Hélas, aujourd'hui notre cher ami Louis nous a quitté. Nous garderons un souvenir ému et durable.

Au nom de la section genevoise de l'USKA, de tous les amateurs de Suisse et des pays voisins, de tous ses amis, nous présentons à sa chère épouse «Nelly», à son fils «Louki», à sa belle-fille «Katharina» et à toute sa famille, notre profonde sympathie et nos sincères condoléances.

Henri Besson, HB9FF
Président d'honneur



TECHNIK

Redaktion:
Dr. Peter Erni (HB9BWN), Römerstrasse 34, 5400 Baden

Mesures en électricité, radio-électricité et électronique (Part 1)

Werner Tobler (HB9AKN), Chemin de Palud 4, 1800 Vevey

Introduction

Dans cette série d'articles consacrés aux mesures, nous allons introduire les notions indispensables nécessaires pour effectuer celles-ci, même avec des moyens réduits. Combien de fois n'avons nous pas entendu cette remarque désabusée «Oh, on ne peut rien construire, nous n'avons pas les instruments nécessaires pour faire les mesures». Si cette remarque est parfois pleinement justifiée pour des montages qui exigent pour leur mise au point un équipement coûteux, on peut très souvent effectuer d'excellentes mesures avec des moyens simples à la portée d'amateurs moyens. Pour cela, il faut bien entendu posséder les connaissances de base nécessaires. Le but de cet article est de les apporter.

Nous examinerons successivement le plus de cas possibles tirés de la pratique, étant bien conscients que nous ne pourrions être exhaustifs. Nous le savons, le domaine de la mesure est très vaste, la métrologie est enseignée dans les écoles, mais c'est vraiment une science dans laquelle les manipulations pratiques et l'esprit critique jouent un rôle considérable.

Néanmoins, si nous pouvions déjà indiquer les notions de base, et éviter qu'un amateur radio ne cherche désespérément la trace sur un oscilloscope, comme beaucoup de professionnels, nous aurions atteint notre but.

Actuellement l'instrumentation dispose des développements considérables de l'informatique, et la plupart des instruments de mesure industriels délivrent des données pouvant être traitées par ordinateur. Sans vouloir minimiser la puissance de traitement de ces ensembles, parfaitement à leur place dans des chaînes de production, on est obligé de constater qu'il n'est nullement nécessaire de disposer de tels instruments dans une mode-

ste station d'amateur. Au contraire, il est beaucoup plus important dans ce cas de savoir exactement ce que l'on mesure, que de présenter de beaux graphiques, nécessaires certes, pour être pris au sérieux dans une présentation ou conférence, mais qui n'ont aucune valeur lorsqu'il s'agit de faire fonctionner un montage. La science se moque pas mal de l'esthétique et c'est tant mieux. Nous, amateurs avons la grande chance d'avoir le temps de réfléchir, alors que les acteurs d'une chaîne de production n'ont même pas à savoir ce qu'est un volt. L'article qui suit est donc fait dans cette optique. De plus en plus d'amateurs peuvent s'offrir des instruments réellement performants, sur un marché très concurrentiel, à des prix de plus en plus bas. La seule différence par rapport à du matériel dit professionnel réside dans la qualité des pièces le constituant, en particulier la qualité du clavier, la solidité du boîtier, l'instrument étant appelé à être utilisé souvent dans des conditions difficiles et par plusieurs personnes. Ce n'est souvent pas le cas chez l'amateur qui prend grand soin de son matériel et est le seul à l'utiliser. Tout d'abord qu'allons nous mesurer? Toutes les grandeurs électriques présentant un intérêt évident, les autres étant seulement mentionnées. Il n'est en effet souvent pas indispensable de faire certaines mesures qui n'ont qu'un intérêt académique, et on verra que dans la pratique, seules quelques mesures sont souvent suffisantes. Il n'est donc pas indispensable d'avoir tout un laboratoire bien équipé pour faire du bon travail. Quand on voit à quel point des équipements coûteux sont mis de côté dans des laboratoires industriels par manque d'intérêt, cela laisse songeur et devrait permettre à des personnes motivées de pouvoir les utiliser.

D'autre part, un mal très répandu est «l'instrumentite» entendez par là que l'on est persuadé de ne rien pouvoir entreprendre si l'on ne possède pas l'analyseur Y, le spectroscopie X.

Inutile de dire que ce mal profite largement aux marchands d'instruments. Le plus important, est d'interpréter les mesures, comme aussi de connaître au moins dans les grandes lignes les possibilités de l'instrument. Le mode opératoire est lui aussi très important, et c'est à ce niveau que le dossier technique, accompagnant l'instrument prend toute son importance. De plus, nous resterons réalistes. Inutile en effet de trop insister sur les possibilités de superinstruments présents dans quelques laboratoires seulement, et non accessibles à l'amateur. Mais le simple fait de savoir que ces instruments existent peut parfois donner des idées.

L'amateur doit bien se persuader, que l'instrument le plus coûteux, de la marque la plus prestigieuse, ne fournira pas forcément la meilleure mesure. Encore faut-il que **cette mesure ait un sens**, et qu'on ait présent à l'esprit tous les paramètres en présence. Un simple grid dip donne quelquefois les précieux résultats qu'un appareillage coûteux ne saurait donner, s'il n'est pas prévu pour cela.

Table des matières

1. La tension ou différence de potentiel.
 - 1.1 Branchement
 - 1.2 Le voltmètre électronique ou de Moulin
 - 1.3 Mesure d'une tension alternative
 - 1.3.1 Notion de tension alternative
 - 1.3.2 Mesure d'une tension alternative de haute fréquence
 - Cas a: Fréquences industrielle
 - Cas b: Fréquences audio
 - Cas c: Fréquences HF
 - Remarque importante
 - Résumé
2. Mesure de l'intensité d'un courant électrique.
 - 2.1 Notion de courant continu (DC)
 - 2.2 Branchement de l'instrument
 - 2.3 Notion de courant alternatif (AC)
3. La résistance.
4. La puissance.
5. La fréquence.
6. Le coefficient de self induction.

7. La capacité.
8. Le bruit de fond dans les mesures.
9. L'impédance en HF.
10. Les décibels.
11. L'oscilloscope.
12. Mesure d'une prise de terre.
13. Conclusions.

1. La tension ou différence de potentiel.

L'amateur doit premièrement se poser la question suivante:

De quel genre de tension s'agit-il?

- a) D'une tension électrostatique?
 - b) D'une tension continue dynamique, c'est-à-dire pouvant donner naissance à un courant de façon permanente.
 - c) D'une tension alternative dynamique et si oui de quelle forme et de quelle fréquence?
- et pour les cas b) et c) de quel générateur provient cette tension?

De la réponse donnée à ces questions dépendra la façon de faire la mesure ainsi que les instruments à employer.

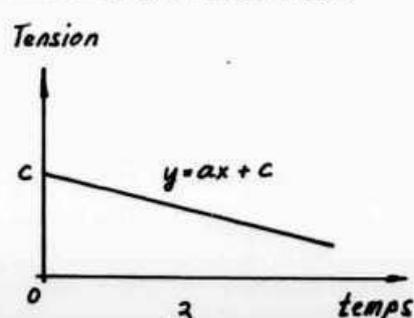
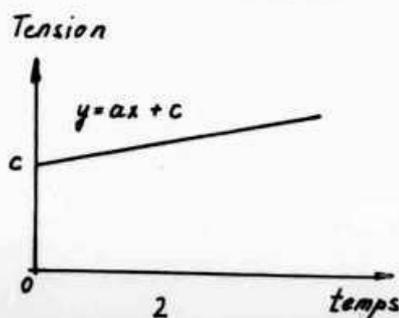
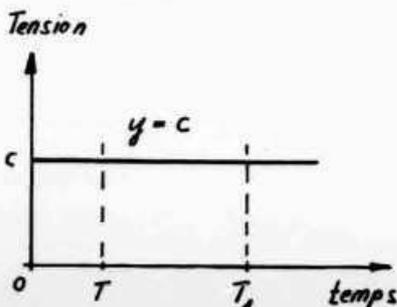
1.1 Branchement

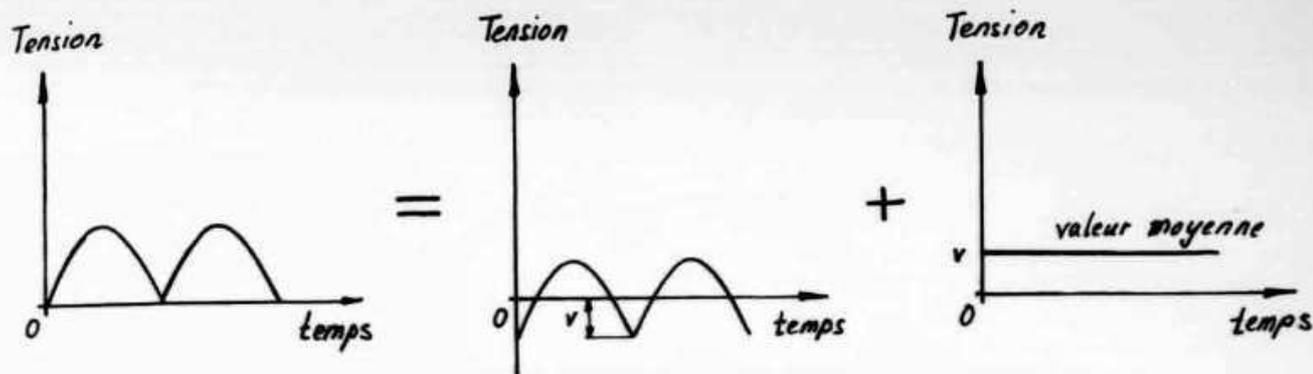
Une tension se manifeste entre deux points d'un montage, et le voltmètre sera branché à ces points. La tension s'exprime en volts.

Cas a). C'est plutôt un cas d'école. Qui ne se souvient de la fameuse bobine de Rhumkorf, ainsi que de la machine rotative à disque? Dans une station d'amateur, ce sera plutôt la tension électrostatique apparaissant entre l'antenne et la terre un jour d'orage qui attirera l'attention, lorsque des crépitements se feront entendre sur les lames des CV's du coupleur d'antenne. Il existe des voltmètres spéciaux qui permettent cette mesure, et le néophyte est tout étonné de constater les valeurs élevées des tensions pouvant être atteintes. Dans le domaine industriel, à part certaines applications très particulières dans le domaine des isolants, et des diélectriques, ce genre de mesure est très rare.

Cas b). **Notion de tension continue.**

Nous allons préciser certains concepts afin de dissiper les doutes qui peuvent apparaître. La représentation graphique d'une tension continue est donnée ci-dessous et parle d'elle même.





Après un temps écoulé T_1 , la valeur de la tension est identique à ce qu'elle était au temps T . Nous savons qu'en pratique ce cas idéal n'existe pas toujours et que l'on obtient 2) ou 3). Fort heureusement, on n'est nullement limité à ces trois cas pour utiliser valablement un voltmètre en tension continue. Considérons la tension issue d'un pont redresseur ou pont de Graetz, elle aura l'allure suivante:

Cette tension peut se décomposer en une composante continue, celle mesurée par l'instrument, et une composante alternative. La mesure devra être effectuée par un instrument à cadre mobile ou numérique. L'instrument déviara ou actionnera ses digits selon la valeur moyenne en position DC bien sur. Le même raisonnement pourra s'appliquer à tous les signaux situés dans la partie positive du système d'axe, quel qu'en soit leur forme.

On le voit, en électronique, on aura souvent à faire à une combinaison de deux composantes, l'une continue, l'autre alternative, et rarement à une seule des deux. C'est pourquoi il faut toujours connaître, au moins d'une façon approximative à quelle forme de tension on a à faire.

Ici, une gamme plus étendue d'instruments peut être utilisée. On dispose des possibilités suivantes:

- Les instruments dits universels analogiques ou numériques
 - Les voltmètres électroniques
 - Les oscilloscopes analogiques ou numériques
- Sans vouloir reprendre la controverse qui opposait jadis les tenants des instruments analogiques aux nouveaux venus digitaux, disons que le bon choix dépend de plusieurs facteurs en tout premier lieu, la précision nécessaire. Il est bien évident que la précision nécessaire pour mesurer une tension d'alimentation d'étage de puissance à transistor, n'a rien de commun avec celle nécessaire à l'ajustement d'une tension d'offset d'un amplificateur opérationnel par exemple. D'autre part, pour mesurer certaines tensions de crête, assez rapides, un voltmètre numérique ne nous indiquera pas assez rapidement cette valeur, alors qu'un voltmètre analogique nous donnera une approximation suffisante. De plus, une valeur sur un instrument digital demande à être lue, afin

d'être comparée à la précédente, pour déterminer la tendance, alors qu'un simple coup d'oeil sur une aiguille nous renseigne.

On répond ensuite à la question «De quel genre de générateur s'agit-il?»

Le débutant est peut-être dérouté par cette question. Si l'on mesure la tension aux bornes d'un générateur puissant (batterie d'auto, dynamo, redresseur de puissance), le petit courant nécessaire pour le fonctionnement du voltmètre sera négligeable et l'on pourra se permettre d'avoir un instrument à résistance interne relativement basse. Si l'on mesure par contre sur un amplificateur à transistors une tension de jonction base émetteur, il faudra que le courant nécessaire pour actionner le voltmètre soit négligeable par rapport au courant de la jonction, ce qui nous conduit à des instruments à grande résistance interne comme les voltmètres numériques.

Les mesures effectuées à l'oscilloscope feront l'objet d'un chapitre spécial, cet instrument étant assez particulier.

1.2 Le voltmètre électronique ou de Moullin

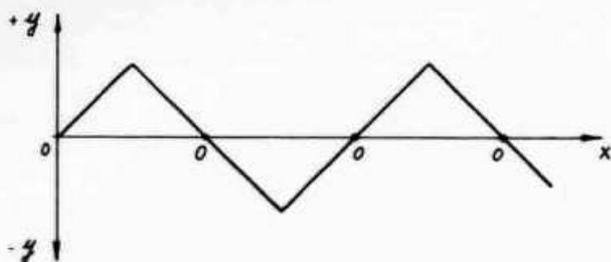
Il est encore appelé voltmètre à lampe, appellation provenant de l'époque des tubes électroniques. Il a été complètement dépassé par les instruments modernes digitaux. Il avait l'avantage de la grande résistance interne impossible à obtenir à l'époque avec les instruments à cadre. Il existe aussi la version électronique mais analogique. La mesure d'une tension continue s'effectue donc sans difficultés particulières. L'amateur bénéficie de la concurrence acharnée que se livrent les constructeurs de sorte qu'on trouve sur le marché d'excellents instruments pour une centaine de francs déjà. L'amateur veillera à bien comparer les échelles. L'idéal serait de disposer d'un bon instrument analogique pour les hautes tensions comme le légendaire Simpson, et d'un instrument digital pour la précision dans les petites tensions.

1.3 Mesure d'une tension alternative

1.3.1 Notion de tension alternative

Une tension alternative part de 0, augmente dans le sens positif ou négatif jusqu'à une valeur maxi-

male appelée amplitude, décroît, revient à 0, inverse son sens et recommence. La fonction $y = f(x)$ ci dessous exprime cela.



Ici, il existe une grande diversité de formes de tensions. Elles peuvent être carrées, sinusoidales, triangulaires etc. Dans les mesures qui nous occupent, nous ne considérerons que les tensions périodiques, c'est à dire se reproduisant après un temps appelé période T.

On distingue la valeur de pointe, la valeur efficace. Celle-ci correspond à la valeur instantanée qui produit le même effet qu'une tension continue. L'indication en valeur efficace, ne sera valable que pour une tension sinusoidale.

Il s'agit maintenant de répondre à la deuxième question soit de quelle fréquence approximative est cette tension, et de quelle forme. C'est une question importante car de la réponse à celle-ci dépendra fortement le choix de l'instrument à utiliser. Nous aurons en gros trois gammes de fréquences bien distinctes:

- Les fréquences dites industrielles de 50 Hz en Europe 60 Hz aux USA sans oublier le 16 2/3 des CFF.
- La gamme dite de basse fréquence ou «audio» s'étendant de 10 Hz à 15 kHz restituant toute la gamme audible par l'oreille humaine.
- La gamme dite des hautes fréquences pour tout ce qui est supérieur avec les subdivisions VLF, LF, HF, VHF, UHF, SHF.

Nous allons passer en revue ces différents cas. Le cas a). Il paraît tout simple et pourtant.

Beaucoup de problèmes sont liés au secteur de distribution de l'énergie électrique et ce secteur est de plus en plus sollicité par des récepteurs (on appelle ainsi des appareils électriques branchés au réseau) très divers allant du modeste fer à repasser à l'appareil de diathermie de physiothérapie. Parmi ces récepteurs certains sont «innocents» comprenez par là qu'ils ne perturbent pas le réseau de distribution. D'autres perturbent le réseau de différentes façons. Ces perturbations seront alors véhiculées par le réseau lui-même. Nous touchons ici tout le problème de la compatibilité électrique qui fait l'objet de nombreux cours et séminaires.

On peut mesurer la tension du secteur à l'aide d'un simple multimètre. On sera ainsi renseigné sur la valeur nominale de celle-ci. Voir à ce sujet

l'article paru dans l'old man no 9/1990 sous le titre «La tension monte».

Hélas, la seule connaissance de la tension du secteur ne suffit pas pour avoir une connaissance complète de celui-ci. En effet, nous l'avons dit, le secteur peut parfois être le support de perturbations diverses ne pouvant pas être mises en évidence à l'aide d'un simple multimètre, ces phénomènes étant généralement très rapides. Il faut alors utiliser un analyseur de secteur, capable de mesurer les perturbations fugaces ou répétitives, l'instant auquel elles se produisent, leurs amplitudes, etc. Nous le savons, un tel instrument ne peut être acheté par un amateur, mais, en cas de doute sur la «propreté» du secteur, il existe un organisme appelé «Pro Radio Télévision» à Wabern, près de Berne, pouvant fournir une assistance dans les cas tenaces. Rien n'est plus ennuyeux que d'être perturbé.

Cas b).

Spectre dit de basse fréquence audio en anglais AF, en français BF, en allemand NF. C'est les premiers pas dans le domaine de l'électronique. On quitte résolument le domaine de la distribution qui nous avait permis de faire notre toute première mesure avec notre multimètre tout neuf. La gamme complète acoustique va de 10 Hz à 16000 Hz environ pour une transmission à haute fidélité, mais dans une transmission téléphonique SSB, on pourra se contenter de 2500 Hz comme valeur supérieure limite. Ce domaine d'application est immense puisqu'il touche à l'un des sens fondamentaux de l'homme, l'ouïe. Dans toute chaîne électro-acoustique, il faudra toujours faire la distinction entre la partie purement électrique, avant transformation en énergie acoustique, et la partie purement acoustique depuis le transducteur qui est l'organe effectuant la transformation d'une forme d'énergie à l'autre.

Dans une station d'amateur, à l'émission, c'est toute la partie allant du microphone au modulateur équilibré ou FM qui constitue cette chaîne. A la réception, c'est à partir du détecteur de produit ou du discriminateur FM qu'apparaît le signal BF qui sera encore amplifié avant d'être appliqué au haut parleur ou au casque.

Quels sont les instruments utilisables dans ce cas?

En premier lieu l'oscilloscope dont nous ferons l'étude plus loin. Le multimètre peut convenir jusqu'à des fréquences de 10 kHz et pour autant qu'on utilise un câble blindé. Nous reparlerons de ce point important plus loin. Il faut bien sûr que la tension soit sinusoidale. Avec un instrument à cadre mobile, on pourra effectuer des mesures jusqu'à des fréquences de l'ordre de 3 kHz. Au delà, les pertes dans le cadre deviennent trop importantes. Une mesure typique pour l'amateur sera celle de la tension de sortie du microphone. Une valeur trop faible aura pour conséquence une valeur insuffisante de la puissance HF de sor-

tie SSB du transceiver, alors qu'une valeur trop élevée provoquera de la distorsion. Dans ce cas, seul l'oscilloscope permet d'effectuer une mesure correcte.

Cas c)

1.3.2 Mesure d'une tension alternative de haute fréquence.

Nous l'avons dit, au delà de 10 kHz, les multimètres sont inutilisables il nous reste:

- a) Le voltmètre électronique à sonde HF
- b) L'oscilloscope

Nous entrons ici dans le domaine qui fût longtemps inaccessible avec des moyens d'amateur. Les amateurs constructeurs au début procédaient par tâtonnement, ne pouvant disposer des instruments fort coûteux jadis. Il n'est d'ailleurs pas toujours nécessaire de connaître exactement la valeur d'une tension HF. On peut procéder d'une façon indirecte. Ainsi, pour ceux qui ont bien connu les tubes électroniques, pour le réglage du niveau d'excitation HF de l'étage PA, si on doit par exemple obtenir un courant de grille G1 de 5 mA, comme c'était le cas pour la bonne vieille 807, et bien on réglait l'étage «driver» jusqu'à l'obtention de cette valeur lue dans le circuit de G1. Ainsi, la valeur du courant de G1 nous indiquait indirectement la juste valeur du gain du «driver» donc la valeur de la tension HF nécessaire à l'entrée du PA, sans connaître cette valeur en volts.

Avec l'arrivée en force de l'électronique moderne à semi-conducteurs, il n'est plus question de valeurs approximatives, et les circuits intégrés doivent travailler dans des conditions bien déterminées. Heureusement, les instruments ne sont plus aussi chers.

Tout d'abord, qu'entendons nous par haute fréquence? Dans un premier temps nous irons jusqu'à 30 MHz, il y a déjà beaucoup de choses à dire. Il faut déjà premièrement se défaire du cliché que retient le néophyte, lorsqu'il visite une exposition genre INEL à Bâle où on lui présente un générateur HF relié par câble coaxial à un oscilloscope et tout semble se dérouler sans difficultés particulières. Et bien non ce n'est pas si simple et ceci pour plusieurs raisons. Elles seront expliquées au long de l'exposé.

Pour les mesures HF, une caractéristique de première importance de l'instrument est son impédance d'entrée ainsi que sa capacité d'entrée. En effet, tant que nous étions dans les fréquences plus basses, nous savions que notre multimètre numérique avait une impédance d'entrée de l'ordre de 10 MOhms pour une capacité d'entrée inférieure à 50 pf. Or 50 pf sur 10 MHz correspond à une réactance capacitive de 320 Ω environ, ce qui interdit toute mesure. De même, les 24 pf inscrits à l'entrée des oscilloscopes correspondent à 670 Ω à 10 MHz. La solution alors? Il faut utiliser un oscilloscope HF digne de ce nom, comportant une sonde HF à très haute impédance, avec sortie basse impédance par câble coaxial, qui attaque-

ra l'entrée de l'amplificateur vertical de l'oscilloscope, qui sera elle aussi à basse impédance. La valeur courante de l'entrée basse impédance est de 50 Ohms.

Remarque importante:

Pour les petites puissances HF disponibles dans les petits étages de l'émetteur, on peut connecter directement ceux-ci à l'entrée basse impédance de l'oscilloscope, à condition que les étages aient une impédance de sortie elle aussi de 50 Ohms. Avec les étages de puissance (driver, PA) on ne fera pas ce branchement qui détruirait l'entrée de l'oscilloscope.

En résumé, pour effectuer une véritable mesure il faut:

- a) Brancher l'instrument (oscilloscope ou voltmètre électronique à sonde) en parallèle sur la source à mesurer, en perturbant celle-ci le moins possible grâce à une haute impédance d'entrée et une faible capacité. Cette source doit être adaptée à la charge sur laquelle elle débite.
- b) On peut faire débiter directement la source HF dans l'oscilloscope à basse impédance à condition qu'il y ait adaptation des impédances et en prenant garde de ne pas surcharger l'entrée qui se comporte alors comme n'importe quelle charge fictive.

Une bonne sonde HF présente une capacité de l'ordre de 2pf avec une impédance d'entrée de 200 MOhms voir plus. Elle est généralement munie d'un préamplificateur à transistor FET et dans cet ensemble se trouve le dispositif abaisseur d'impédance. Avec un tel dispositif, on peut réellement effectuer une mesure de tension HF. A défaut de pouvoir effectuer une véritable mesure, le possesseur d'un oscilloscope 1 MOhm 24 pf pourra tout de même observer son signal HF. Pour l'accord de circuits oscillants, il enroulera quelques spires à l'extrémité de la sonde ordinaire et pourra observer l'accord des circuits, visible à l'écran.

Nous pensons avoir dit l'essentiel sur les mesures de tensions HF, qui représentent la majorité des cas, lors de développements de circuits HF. Un bon oscilloscope comme le 561 A de Tektronix muni de ses sondes permet des mesures jusqu'à 1 GHz avec les tiroirs d'échantillonnage. Ce n'est pas un instrument bon marché, mais avec un peu de chance, on peut acquérir d'anciens instruments, pour peu d'argent. Il reste la possibilité d'aller faire ses mesures dans une école, et le professeur sera en général enchanté, de montrer un cas pratique à ses élèves. Les laboratoires industriels regorgent d'instruments inutilisés, qui feront peut-être leur première mesure grâce à un amateur radio. Signalons, comme autre instrument HF l'analyseur de spectre qui permet la mesure de l'amplitude de l'oscillation fondamentale

et de toute la suite des harmoniques. Il s'agit d'un instrument assez coûteux, et, disons le bien franchement, pas indispensable pour des constructions d'amateur.

2. Mesure de l'intensité d'un courant électrique

2.1 Notion de courant continu. (DC)

Tout ce que nous avons dit à propos de la tension continue, reste valable pour le courant continu.

2.2 Branchement de l'instrument

Il sera branché cette fois en série, dans le conducteur dans lequel on désire connaître la valeur du courant. L'unité de courant électrique est l'Am-père.

On peut considérer en gros deux domaines bien distincts:

a) **Le domaine à forts courants** comprenant les chargeurs d'accumulateurs, la galvanoplastie, les bains d'électrolyse, et pourquoi pas le courant continu d'alimentation d'un étage amplificateur final à transistors.

Pour tous ces cas, un simple multimètre à cadre mobile genre Simpson convient très bien. Il n'est en effet pas nécessaire d'avoir de la précision à part peut-être pour l'électrolyse.

Jusqu'à 10 A, on peut également utiliser un multimètre numérique, mais dans le cas de la mesure du courant d'un PA, les brusques variations de celui-ci en SSB ne laisseront pas le temps au multimètre de faire la mesure.

Un appareil à cadre permettra par contre une évaluation rapide de la valeur de pointe du courant. Pour les très forts courants qui ne sont plus couverts par les gammes de l'instrument, on peut recourir à une résistance shunt. Pour ceux qui l'ignore, une résistance shunt n'est rien d'autre qu'une résistance de très faible valeur branchée en parallèle sur l'instrument, dérivant la plus grande partie du courant.

b) **Le domaine à faibles courants** pour les mesures en électronique de petite puissance. Les cas les plus courants seront résolus à l'aide d'un multimètre universel numérique. Pour les courants vraiment très petits, (courants de photomultiplicateurs, de tubes cathodiques etc.) il faudra utiliser des instruments spéciaux. Heureusement, ces mesures sont relativement rares.

2.3 Notion de courant alternatif (AC)

Tout ce que nous avons dit à propos de tension alternative, reste valable pour le courant alternatif. On considérera pratiquement le seul cas des forts courants, celui des faibles courants alternatifs étant très rare en pratique. Pour les applications courantes de mesures avant redressement donc à 50 Hz dans les alimentations diverses, il n'y a aucun problème et un multimètre classique suffit. Il permet aussi des mesures de courants basse

fréquence à 1000 Hz par exemple à la sortie d'un amplificateur BF dans la connexion aux hauts-parleurs.

Pour la mesure de courants HF, il faut utiliser des ampèremètres thermiques, c'est à dire des dispositifs réagissant à l'action calorifique du courant HF. Ces instruments sont assez particuliers de sorte que l'amateur pourra souvent se contenter d'une ampoule d'éclairage à incandescence qui indiquera d'une façon approximative par évaluation de l'intensité lumineuse, la valeur du courant HF la traversant.

L'application la plus étonnante, est l'ampoule d'éclairage insérée dans le feeder d'une antenne Conrad Windom par exemple, qui fournira une indication de l'intensité du courant HF alimentant l'antenne. Connaissant l'impédance caractéristique du feeder, on en déduit facilement la puissance rayonnée. Citons aussi les ampoules disposées à la base du feeder symétrique d'une antenne Levy, qui permettent d'accorder l'ensemble à la résonance, sur la fréquence de trafic, travaillant ainsi dans les meilleures conditions possibles.

3. La résistance

Cette mesure a beaucoup perdu de son importance pour le constructeur, depuis l'apparition des résistances normalisées avec la plupart des valeurs désirables. Fini donc les mesures effectuées au pont de Weston, d'ailleurs les multimètres numériques permettent cette mesure d'une façon très simple. Signalons pour le néophyte l'existence d'un code des couleurs permettant de connaître la valeur de la résistance ainsi que la tolérance.

4. La puissance

En continu, la puissance se calcule simplement par le produit $P = U \cdot I$, on peut donc se passer de wattmètre. Rappelons que 1 watt = 1 joule/seconde ainsi 1 watt · sec = 1 joule, 1 watt · heure = 3600 joules et 1 kwatt · heure = 3'600'000 joules, le travail électrique s'exprimant en joules.

Cela se complique avec le courant alternatif, car dans ce cas, il faudra connaître l'angle de déphasage entre le courant et la tension. C'est pourquoi nous avons pour un courant monophasé l'expression suivante:

$P = U \cdot I \cdot \cos \phi$, ϕ étant l'angle de déphasage entre le courant et la tension. Rappelons que ce déphasage est nul lorsque la charge est constituée d'une charge ohmique pure comme c'est le cas avec les corps de chauffe, et aussi le cas avec une antenne parfaitement accordée. Dans ce dernier cas, le terme d'impédance perd toute sa signification, puisque précisément il n'y a plus aucune composante réactive ni inductive, ni capacitive, et qu'il faut alors parler de la résistance de rayonnement de l'antenne. On sait que dans le domaine «courant fort», les moteurs provoquent de forts déphasages, ainsi que les transformateurs,

et que l'on parle alors de la puissance apparente suivante: $P = U \cdot I$ exprimée en VA.

La puissance réactive sera $P = U \cdot I \cdot \sin \phi$ exprimée en VAR. Il existe des wattmètres munis de deux paires de bornes, une paire pour la tension, une paire pour le courant, ceci pour les applications à 50 Hz, cette mesure étant celle de la première définition soit la puissance active $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$.

4.1 Dans le domaine Audio, on parlera alors de puissance basse fréquence, en supposant que l'amplificateur débite sur une charge ohmique pure. On sait que ce n'est pas forcément le cas lorsque celui-ci débite sur un haut-parleur. De plus, dans ce domaine, chacun y va de sa puissance à lui. On parle de watts «musique», de watts «pointes» etc. Une fois de plus, il faut ouvrir son cours de Physique et savoir ce qu'est une puissance. C'est le travail électrique fourni pendant l'unité de temps. D'autre part, il ne faut pas confondre puissance électrique, et puissance acoustique, celle qui en définitive, parviendra à nos oreilles. Signalons le très mauvais rendement de cette dernière transformation. Alors, quelles sont les unités en Watts vraiment utiles? Il faudra tout d'abord alimenter l'amplificateur en signal basse fréquence de par exemple 1 kHz et sinusoïdal. Si nous l'alimentons en signal de 1 kHz de violon ou piano, les mesures seraient différentes. Le niveau d'entrée étant à sa bonne valeur, l'amplificateur sera chargé, non pas par ses haut-parleurs, mais par des résistances ayant en Ohms, la même valeur que la valeur des impédances des haut-parleurs. En mesurant la tension et le courant, calculant P , nous obtiendrons la puissance permanente possible avec cet amplificateur. Un oscilloscope sera à cet instant très utile pour s'assurer que le signal de sortie n'a pas de distorsion pour cette puissance maximale. Si tel n'est pas le cas, il faudra diminuer la puissance. Cette puissance est donc celle que l'amplificateur est capable de produire d'une façon continue, pendant des heures par exemple, sans que rien ne soit endommagé. La puissance de pointe par contre n'est atteignable que pendant un bref instant, un fortissimo, actuellement parfaitement reconstitué grâce à la très grande dynamique des disques compacts. Cette puissance de pointe est beaucoup plus élevée que la précédente, mais ne peut en aucun cas être maintenue.

4.2 Dans le domaine HF, la mesure directe de celle-ci n'est pas chose aisée, et l'on procédera de façon indirecte, en graduant directement en Watts, la tension obtenue en redressant le signal HF mesuré sur une charge ohmique pure connue. Ici aussi on fera la différence entre la puissance de pointe (PEP) et la puissance dissipable possible d'une façon permanente qui est bien inférieure.

5. La fréquence

C'est un paramètre très important, peut-être le plus important pour le passionné de HF. De cette valeur dépend une foule de considérations, ne serait-ce que le simple fait d'être dans la bande ou hors bande. Faut-il rappeler ce qu'est la fréquence? Nous le ferons brièvement en nous excusant auprès des amateurs chevronnés, mais nous savons qu'il y a parmi les lecteurs, des personnes qui ont vu tout cela à l'école, mais n'y ont pas pris garde sur le moment. C'est le nombre de cycles par seconde. On a la relation, $F = 1/T$ T étant la période, soit le temps nécessaire pour faire un cycle. La fréquence s'exprime donc en cycle par seconde ou Herz. **On ne parle jamais de Herz par seconde.**

Quel est le premier moyen de mesurer la fréquence qui vient à l'esprit de l'amateur, à peine terminé son oscillateur? Et bien son récepteur. Seulement, un certain nombre de pièges l'attendent de pied ferme et le rôle de cet article est de les déjouer. L'amateur sera tout d'abord étonné d'entendre une foule de signaux reçus, et cela ne manquera pas de l'étonner, lui qui croyait avoir un signal parfait. Pour comprendre cela, il convient de se souvenir ce qu'est un récepteur superhétérodyne. Pour cela, nous renvoyons le lecteur à des ouvrages de radio. Pour simplifier, on entendra le signal lui-même et toute la suite des harmoniques ainsi que toutes les fréquences images correspondantes. Cette méthode peu coûteuse est donc utilisable pour autant que l'on connaisse la valeur de la moyenne fréquence du récepteur, et que l'on ne place pas celui-ci en état de saturation. Rappelons brièvement que la valeur de la fréquence image vaut: $F_i = F + 2 \text{ mf}$ ou $F = F - 2 \text{ mf}$ selon que l'oscillateur local est situé au dessus ou au dessous de la fréquence à recevoir. Les instruments de mesure ont baissé de prix, et l'amateur peut désormais acquérir un véritable fréquencemètre appelé aussi compteur. Il faudra néanmoins être attentif aux spécifications suivantes:

- a) La sensibilité de l'instrument soit le nombre de millivolts nécessaires à appliquer pour obtenir un fonctionnement correcte.
- b) L'impédance d'entrée avec toutes les remarques concernant l'impédance d'entrée de n'importe quel instrument.
- c) La stabilité de la base de temps exprimée en ppm (part par million).

Reprenons ces trois points en détail.

- a) Elle peut être de 10 mv, 50 mv ou autre. Mais souvent en cours de mesure, on ignore complètement l'ordre de grandeur du niveau du signal à mesurer. Dans la pratique, nous sommes très loin du cas d'école reproduit année après année à l'Inel à Bâle où l'on connecte un générateur HF de niveau de sortie connu, à un fréquencemètre de sensibilité connue. Au contrai-

re, il faut souvent dans un prototype, évaluer l'ordre de grandeur du signal, et l'on ne sait souvent pas si le niveau est suffisant.

C'est pourquoi certains fabricants intelligents ont monté un galvanomètre sur leur fréquencemètre, nous indiquant d'un simple coup d'oeil si le niveau du signal à mesurer est suffisant ou non. Cette disposition est malheureusement assez rare, et elle transforme le fréquencemètre en mesureur relatif de niveau HF, ce qui autorise son emploi pour des travaux d'alignement par exemple. A l'inverse, les modèles courants nous laissent toujours dans l'incertitude de ne pas avoir le niveau HF suffisant pour déclencher le «trigger».

Passons maintenant au point b)

L'impédance d'entrée a la même importance que pour n'importe quel instrument de mesure. Il y a lieu de considérer aussi si cette impédance a un couplage continu (DC) ou alternatif (AC).

On ne branche pas l'instrument directement sur la source à mesurer, on se contente, on insère un condensateur de façon à bloquer la composante continue. Si on utilise l'entrée à basse impédance avec l'inévitable valeur de 50 Ohms, on effectuera un couplage électromagnétique à l'aide de quelques spires connectées à l'extrémité de la sonde. Le point c, nous donne une indication de la précision réelle que l'on peut obtenir avec l'instrument. Si on a une base de temps à quartz de par exemple 0,01 ppm par jour, nous avons une dérive de fréquence de 0,11 Hz par jour ce qui permet de déterminer quel digit est encore valable. Le nombre de digits seul n'est pas suffisant encore faut-il que l'oscillateur à quartz ait la stabilité nécessaire pour que le dernier digit ait une signification. Souvent les appareils bons marchés ont beaucoup de digits qui ne correspondent pas aux performances réelles de la base de temps. Mais pour l'amateur, c'est souvent suffisant.

Comme autre moyen purement amateur de mesurer la fréquence, mentionnons l'ondemètre à absorption qui n'est autre qu'un circuit oscillant dans lequel est insérée une ampoule et dont le cadran gradué nous indique la fréquence de résonance. Un grid-dip peut aussi être utilisé en onde métre, et cela peut être suffisant dans bien des cas. Signalons que l'oscilloscope peut aussi, grâce à sa base de temps étalonnée nous indiquer la valeur de la fréquence du signal, mais c'est peut-être la moins bonne utilisation de cet instrument.

6. Le coefficient de self induction

Il s'agit ici aussi d'une mesure très importante et nous renvoyons le lecteur à notre article consacré aux bobinages paru dans l'old man 12, de l'année 1988. L'article garde toute sa valeur, partant des lois fondamentales de la Physique.

7. La capacité

Ici aussi il existe un choix énorme disponible pour le constructeur qui fera son choix grâce à un code

des couleurs analogue à celui des résistances. Un point important est celui du choix du diélectrique qui devra occasionner le moins de pertes possible à la fréquence considérée. Rappelons que le meilleur diélectrique est l'air sec, suivi du mica ($\tan \phi 10^{-6}$), vient ensuite la céramique et les polycarbonates. Les bons vieux condensateurs variables à air restent donc les meilleurs. La mesure peut s'effectuer très simplement à l'aide d'un appareil digital à main.

8. Le bruit dans les mesures

Le lecteur pourra se reporter avec fruit à notre article paru dans l'old man 7/8 de 1981 intitulé «Boucles de terre et retours de masse» qui est toujours d'actualité. Rien ne sert en effet d'avoir des instruments très perfectionnés si ceux-ci reçoivent en plus du signal désiré des signaux indésirables, généralement à la fréquence de 50 Hz. On distingue les cas suivants:

- L'instrument est à haute impédance d'entrée et mesure une tension continue. C'est le cas le plus simple et deux fils de laboratoire sans aucun blindage conviendront parfaitement. Ces deux fils capteront bien un peu d'énergie que l'on lira parfaitement à l'affichage digital, mais cela ne gênera aucunement la mesure. Ce phénomène sera encore moins gênant avec un instrument à cadre mobile avec lequel l'impédance d'entrée bien que haute sera moins élevée, ceci pour les grandes tensions.
- L'instrument est à haute impédance d'entrée et mesure une tension alternative. Il faut dans ce cas utiliser un câble blindé avec les précautions exposées dans l'article ci-dessus concernant les boucles de terre. De même avec un instrument à la valeur d'impédance d'entrée de 50 Ohms.

9. Mesure de l'impédance en HF

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un pont amené à l'équilibre, et l'application immédiate pour un amateur est la détermination du terme résistif et du terme réactif de son antenne, à une fréquence considérée. Cette mesure très instructive fera l'objet d'un article écrit en collaboration avec Philo HB9CM chez qui nous avons fait de très intéressantes mesures à l'aide de son pont de Schering GR-1606A. Ce vénérable instrument sauvé in extrémis d'un triste sort, nous a permis d'effectuer pour la première fois en ce qui me concerne, la mesure exacte des termes de l'impédance complexe de la forme $a + jb$, et non pas seulement la valeur du module du vecteur Z . Ainsi, on peut déterminer par calcul exactement les valeurs de correction à apporter afin que l'impédance complexe soit transformée en résistance ohmique pure. Signalons aussi, que la valeur d'impédance obtenue à l'aide d'un impédancemètre couplé à un grid dip, nous fournit aussi la valeur

du module de vecteur Z et non les valeurs respectives résistives et réactives, composants le vecteur Z.

10. Les décibels

Nous avons pensé qu'il était utile, dans un article consacré aux mesures, de rappeler certaines notions très utiles concernant les décibels. D'après certaines lettres reçues, il semble que ce rappel ne sera pas inutile.

Le décibel, dixième partie du bel, est une unité très utilisée dans le domaine des télécommunications en général. Cette unité exprime le gain ou au contraire l'atténuation d'un signal électrique selon que le signe précédent le chiffre est positif ou négatif. On pourra ainsi, par simple addition algébrique des différents niveaux le long de la chaîne, connaître le niveau final. Pour cela, il faudra que l'impédance soit constante tout au long de la chaîne. D'autre part, certaines conventions seront indispensables afin d'opérer avec des unités de même nature. Il est parfois intéressant de connaître en un point du montage, non pas un niveau en décibel, mais en volts nous verrons comment passer de l'un à l'autre.

Les décibels étant des unités logarithmiques, il convient peut-être de rappeler ce qu'est un logarithme à l'heure où il suffit de presser sur la touche «log» de sa calculatrice sans même savoir ce que l'on calcule.

Le logarithme d'un nombre est l'exposant qu'il faut mettre à la base pour obtenir ce nombre. Si la base est 10, on parle de logarithmes vulgaires. Si la base est e, (2,710) on parle de logarithmes naturels ou Népériens. On pourrait imaginer toutes sortes de logarithmes à base différente que ci-dessus, mais dans cet exposé, nous ne nous occuperons que des logarithmes vulgaires à base 10. Par convention les logarithmes vulgaires s'écrivent log, alors que les logarithmes Népériens s'écrivent ln (Attention sur vos calculatrices!). Inversement, on peut, à partir du log, retrouver le nombre, c'est la recherche de l'antilog.

Nous ne considérerons donc que les log's vulgaires qui donnent naissance aux bels, alors que les ln's naturels donnent naissance aux Népers, unité très utilisée en téléphonie.

$$\begin{aligned} \text{On a: Niveau [Bel]} &= \log \frac{P_2}{P_1} \text{ d'où Niveau [db]} \\ &= 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \end{aligned} \quad (1)$$

Où P2 et P1 sont les deux puissances électriques à comparer (dans la même unité bien sûr).

$$\text{On a d'autre part: } P_2 = \frac{V_2^2}{R} \text{ et } P_1 = \frac{V_1^2}{R} \text{ d'où}$$

$$\text{Niveau [db]} = 10 \cdot \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

de même avec l'intensité

$$\text{Niveau [db]} = 20 \cdot \log \frac{I_2}{I_1} \quad (3)$$

avec $P_2 = I_2^2 \cdot R$ et $P_1 = I_1^2 \cdot R$

Ainsi, on pourra comparer:

des puissances P2 et P1 avec l'expression (1)

des tensions V2 et V1 avec l'expression (2)

des courants I2 et I1 avec l'expression (3)

toujours à impédance constante R

Le niveau ainsi exprimé en décibels doit pouvoir inversement être converti en valeur de puissance, de tension ou de courant. C'est la valeur de tension qui intéresse le plus l'électronicien. Pour effectuer la conversion, il convient de savoir à quel niveau correspond 0 db dans les trois unités ci-dessus.

Par convention le dbm se réfère au milliwatt soit 10^{-3} Watt donc nombre de dbm = $10 \log P/10^{-3}$ et l'on pourra ainsi exprimer n'importe quelle puissance en dbm. Inversement, connaissant le niveau de sortie d'un générateur en dbm, on pourra calculer la tension correspondante, ainsi que la puissance.

Exemple 1:

Soit un générateur HF dont le niveau de sortie vaut 13 dbm pour une résistance interne de 50 Ω. Quelle est la tension de sortie disponible? On applique l'expression 1 d'où:

$$13 = 10 \log P/10^{-3} - 1,3 = \log P/10^{-3}$$

$$\text{antilog } P/10^{-3} = 20 - P1 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$\text{nous avons } 20 \cdot 10^{-3} = V^2/50 - V = 1 \text{ volt}$$

Ainsi, on voit que la même valeur de 13 dbm mais avec 100 Ω de résistance interne donnerait $V = 1,414$ volt. On voit donc que la simple indication du niveau en dbm ne suffit pas, encore faut-il connaître l'impédance de sortie si on veut connaître la tension de sortie correspondante.

Avec 600 Ω d'impédance, 0 dbm correspond à une tension de 0,775 volts. C'est cette valeur qui correspond aux échelles de décibels tracées sur le cadran des multimètres analogiques à cadre mobile.

Exemple 2:

Le niveau nécessaire à l'entrée microphonique d'un transceiver est de -50 dbm pour obtenir la puissance HF maximale dans la zone linéaire. A combien de millivolts BF cela correspond-t-il?

On calcule la puissance correspondante soit: -50 = $10 \log P/10^{-3}$ on obtient: $-5 = \log P/10^{-3}$ d'où

$$P1 = 10^{-8} \text{ Watts}$$

Si l'entrée est prévue pour un microphone dynamique d'impédance 500 Ω on a:

$$10^{-8} = V^2/500 - V = 2,23 \text{ mV}$$

Exemple 3:

Une antenne d'émission rayonne une puissance HF de 100 Watts sur une antenne dont la résistance de rayonnement est de 50 Ω. On reçoit l'émission avec la même antenne et un signal de 1 μV appliqué aux bornes d'antenne du récepteur. Les deux antennes ayant chacune un gain de 0 db, quelle est l'atténuation en db?

On calcule tout d'abord la puissance dissipée dans le circuit d'entrée du récepteur.

On a $P = (10^{-6})^2/50 = 10^{-12}/50 = 0,02 \cdot 10^{-12}$ Watts
Atténuation en db = $10 \cdot \log(100/0,02 \cdot 10^{12}) = 156,9$ db

Signalons que l'on aurait pu trouver à quelle tension correspond 100 Watts sur 50 Ohms soit:

$100 = V^2/50 \rightarrow V = 70,7$ volts et ensuite:

Niveau en db = $20 \cdot \log 70,7/10^{-6} = 156,8$ db

Exemple 4:

Une station est reçue 59 en utilisant une puissance HF d'émission de 100 Watts. Si le niveau de QRM est de S5, à combien peut-on diminuer la puissance d'émission pour être encore reçu 57 on a:

$12 \text{ db} = 10 \log 100/X \rightarrow 100/X = 15,9$

d'où $X = 6,35$ Watts

Ce simple calcul doit encourager les utilisateurs d'émetteur de petite puissance, car il montre qu'il n'est nullement nécessaire d'avoir des étages finaux très puissants, pour effectuer des QSO's dans un confort suffisant puisque l'on dispose encore d'un rapport signal bruit de 12 db dans ce cas.

Par un même calcul, on verrait que si le QRM est à S9, ce qui n'est malheureusement pas rare sur certaines fréquences, il faudrait monter la puissance d'émission à 1590 Watts! pour dominer le QRM de 12 db toutes choses restant égales par ailleurs. On peut aussi utiliser théoriquement une antenne dont le gain soit supérieur de 12 db par rapport à celle utilisée précédemment. On voit que ce n'est pas aisé à obtenir surtout sur les bandes basses.

Pour terminer, signalons que l'on peut rencontrer des niveaux exprimés encore différemment soit: en dbv lorsque le niveau 0 dbv est de 1 volt en dbw lorsque le niveau 0 dbw est de 1 watt Tous les calculs resteront les mêmes sauf qu'il faudra tenir compte des nouveaux seuils.

La simple désignation db sans aucune lettre additive signifiera elle, toujours, 1 milliwatt, 600 Ohms, 0,775 volts. C'est, rappelons le les db's que l'on lit couramment sur les multimètres. L'impédance de 600 Ohms est celle du téléphone.

11. L'oscilloscope

Cet instrument est considéré à juste titre comme le bras droit de l'électronicien. Il a un aspect peu engageant pour le débutant, avec sa face avant couverte de boutons de réglage. Comme pour n'importe quel ordinateur ou appareil, pour pouvoir l'utiliser avec fruit, il faut lui consacrer un certain temps et se familiariser avec les différentes commandes. Il existe différents ouvrages aux éditions radio consacrés à cet instrument, aussi dans le cadre de cette série d'articles, nous ne fournirons que des renseignements généraux, et le lecteur pourra se perfectionner ultérieurement.

11.1 Eléments constituant un oscilloscope

Nous citerons en premier lieu le tube cathodique puisque c'est lui qui rend visible ce qui fut longtemps invisible à savoir l'allure de la tension que l'on veut étudier.

Ce tube, pour fonctionner, a besoin, en plus de ses exigences propres, qu'on lui applique une tension en dents de scie pour provoquer la déviation horizontale du faisceau, le signal à étudier étant appliqué pour provoquer la déviation verticale. La qualité dépendra dans une large mesure des performances de l'amplificateur vertical, ainsi que du générateur de dents de scie appelé base de temps.

Nous allons examiner plus en détail ces deux éléments, étant entendu que nous nous limiterons aux oscilloscopes analogiques.

Der Vorstand hat zum neuen Bibliothekar mit Amtsantritt am 1. April 1991 gewählt:

Werner Wieland, HB9APF
und
Rösli Wieland, HE9KPJ
zu seiner Mitarbeiterin.

Adresse:
Postfach 1030
4901 Langenthal

HAMBÖRSE

Tarif für Mitglieder der USKA: Bis zu drei Zeilen Fr. 5.—, jede weitere Zeile Fr. 1.50. Nichtmitglieder: Bis zu drei Zeilen Fr. 10.—, jede weitere Zeile Fr. 3.—. Angebrochene Zeilen werden voll berechnet.

Für Liebhaber zu verkaufen: Signal One Milspec 1030 KW TRX, 10 kHz-30 MHz, TX und RX durchgehend, 150 W, 200 Hz-Quarzfilter, all mode, etc., Neupreis \$ 10'000.—, VP Fr. 4500.—. Anfragen an HB9CRQ, Tel. (abends) 064 / 71 55 44.

Verkaufe: KW-Transceiver JST-135, praktisch neu, nur Rx gebraucht, mit Garantie; Morse-Tutor Datong D-70, Fr. 100.—. Suche: FT-767GX, unverbastelt. HB9FMP, Tel. 032 / 51 12 66.

Zu verkaufen: old man Jahrgänge 83-90, Preis nach Vereinbarung; Mobil-Funkgerät Sommerkamp SK-2699R, Jahrgang 87, 144-154 MHz/430-440 MHz, 5 W/25 W, NP Fr. 1400.—, VP Fr. 900.—. F. Wanger (HB9PHN), Tel. 01 / 780 09 45.

Verkaufe: Heathkit SA-2550 (Fernbedienbare Antennenanpasshilfe), ungebraucht, Fr. 190.—; IC-2E mit BC-25E, BC-31E, BP-3, BP-4 mit 6 Accu, Lautsprecher-Mic, Fr. 290.—; 23cm PA USL-2, 0,4 W in, 5 W out, Fr. 200.—; Mic-Stecker zu FT-208/708, neu, Fr. 21.—. Suche: Schema zu