

Méthodes générales de mesure en travaux pratiques

METHODES GENERALES DE MESURES

EN TRAVAUX PRATIQUES

Ce document est destiné fournir une référence pour tout problème de mesure rencontré lors des travaux pratiques d'introduction et d'électronique. Il est donc recommandé de l'apporter en même temps que votre énoncé de TP lors des séances. Ce document se décompose en quatre thèmes :

- La première partie de ce document présente le matériel disponible dans un laboratoire de mesure, les différents câbles nécessaires à la réalisation des montages, et les règles de câblage classiques.
- La suite du document a pour but de synthétiser les diverses méthodes de mesures "classiques" en électronique. Quels que soient les dispositifs étudiés, la caractérisation de ceux ci passe très souvent par la mesure de gains, de relevés de bode, d'amplification, d'impédance, de temps de montée, descente ou propagation, de constante de temps ou d'identification d'un premier ou second ordre (voire plus).
- Diverses méthodes de mesure peuvent alors être mises en œuvre. Il s'agit d'adopter une méthode efficace en fonction du matériel disponible. Ce document présente les relevés classiques en électronique (au sens large) en détaillant diverses méthodes pour chaque mesure.
- En fin de document, vous trouverez les documentations techniques de la plupart des appareils de mesure utilisés lors des TP d'introduction et d'électronique. Ces notices vous seront utiles pour déterminer la précision de vos mesures.

Document initial rédigé par P. Petitclair,

Table des matières

I.	MATERIEL EN TRAVAUX PRATIQUES	3
I.1	APPAREILS DE MESURES EN TRAVAUX PRATIQUES.....	3
I.2	PARTICULARITES DES APPAREILS, CONNEXION A LA MASSE	3
I.3	CONNEXIONS ENTRE LES APPAREILS ET LE MONTAGE D'ETUDE.....	4
I.4	REGLES DE CABLAGE.....	5
I.5	REGLES DE MISE ROUTE D'UN MONTAGE.....	6
II.	MESURE D'IMPEDANCES	7
II.1	METHODE DIRECTE.....	7
II.2	METHODE DE LA « RESISTANCE MOITIE »	8
II.3	INSERTION D'UNE RESISTANCE.....	9
III.	IDENTIFICATION D'UN SYSTEME DU 1ER ORDRE	10
III.1	MESURE DU GAIN A.....	10
III.2	MESURE DE LA CONSTANCE DE TEMPS.....	11
IV.	IDENTIFICATION D'UN SYSTEME DU SECOND ORDRE	13
IV.1	IDENTIFICATION PAR UN ESSAI INDICIEL	13
IV.2	IDENTIFICATION PAR UN ESSAI FREQUENTIEL	16
V.	RELEVÉ D'UN DIAGRAMME DE BODE	18
V.1	RELEVÉ DE LA COURBE DE GAIN	18
V.2	MESURE DE LA PHASE	25
V.3	MESURE AUTOMATIQUE DE GAIN ET DE PHASE	28
VI.	PROBLEMES DE MESURE SUR LES DISPOSITIFS D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE	29
VI.1	UTILISATION DES FONCTIONS DE L'OSCILLOSCOPE.....	29
VI.2	SONDE DIFFERENTIELLE	30
VI.3	ISOLATION GALVANIQUE	30
VII.	NOTICES TECHNIQUES DE QUELQUES APPAREILS	31
VII.1	MULTIMETRE DE TABLE TTI 1705.....	31
VII.2	MULTIMETRE DE TABLE FLUKE 45	33
VII.3	MILLIVOLTMETRE PM 2554.....	35
VII.4	OSCILLOSCOPE NUMERIQUE TEKTRONIX TDS 1002.....	37
VII.5	OSCILLOPE NUMERIQUE TEKTRONIX TDS 30XX	38
VII.6	MULTIMETRE PORTABLE FLUKE 187	39
VII.7	MULTIMETRE PORTABLE VELLEMAN DVM 68.....	40

I. MATERIEL EN TRAVAUX PRATIQUES

I.1 Appareils de mesures en travaux pratiques

Les appareils de mesures couramment utilisés en travaux pratiques sont donnés dans le tableau suivant avec leurs fonctions.

Appareil	Fonction
Générateur de fonctions	Délivre une tension variant dans le temps, de fréquence et de forme variables
Alimentation stabilisée	Délivre une tension continue stable, sert à alimenter les montages
Voltmètre continu ou alternatif	Mesure une tension continue (ou valeur moyenne), une valeur efficace selon le type de signaux
Ampèremètre continu ou alternatif	Mesure un courant continu ou la valeur efficace selon le type d'appareil
Oscilloscope	Permet de visualiser l'évolution d'une ou plusieurs tensions en fonction du temps
Multimètre	Permet la mesure de grandeurs électriques : valeur moyenne, valeur efficace d'une tension ou d'un courant. Permet aussi la mesure de fréquence, fonction ohmmètre, testeur de diode, capacimètre etc.
Sonde différentielle	Permet de faire une mesure de tension en différentiel. On peut ainsi visualiser à l'oscilloscope une tension aux bornes de n'importe quels points d'un montage.
Analyseur de spectre	Affiche le spectre en fréquence d'une tension

I.2 Particularités des appareils, connexion à la masse

Lorsque l'on fait des mesures, divers appareils sont mis en jeu. Il est alors nécessaire de connaître leurs particularités d'un point de vue des connexions.

Certains appareils actuels ont la référence (masse) connectée à la prise de terre du secteur. C'est le cas des **générateurs de fonctions, des oscilloscopes ou des analyseurs de spectre**. Il est important d'en tenir compte lors des mesures, car cette particularité amène à connecter les masses (via la terre) des différents appareils mis en jeu lors d'une manipulation.

Ceci pose des problèmes lorsque l'on veut mesurer à l'oscilloscope une tension entre deux points non connectés à la masse d'un montage. Il faut alors utiliser une sonde différentielle (voir VI. Problèmes de mesure sur les dispositifs d'électronique de puissance).

Les **générateurs de fonctions** ont leur point froid connecté à la terre, on ne peut donc pas les insérer entre deux points quelconques du montage.

Les **voltmètres, multimètres et alimentations stabilisées** ne sont pas connectés à la terre afin de pouvoir les insérer entre n'importe quels points d'un montage.

I.3 Connexions entre les appareils et le montage d'étude

Le type de connexions entre appareils dépend des fiches disponibles sur les appareils, de la clarté d'un montage pour pouvoir intervenir dessus, mais aussi des règles permettant de limiter la perturbation des mesures.

On trouvera des bornes **BNC** (borne 1 de la figure 1) sur des générateurs de fonctions, des oscilloscopes et de certains voltmètres, et des **fiches bananes** (borne 2 de la figure 1) sur les multimètres, alimentations stabilisées ou les ampèremètres.

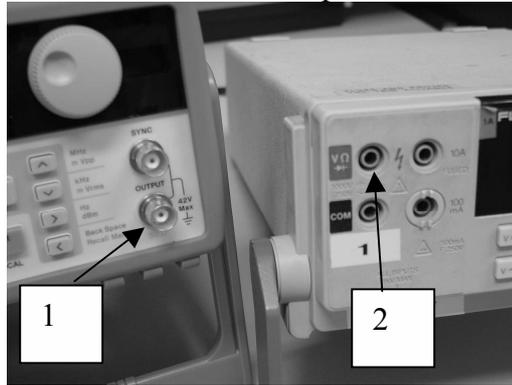


figure 1 : Bornes des appareils de mesure

En fonction des bornes disponibles sur les appareils, les connexions seront réalisées avec des fils adaptés.

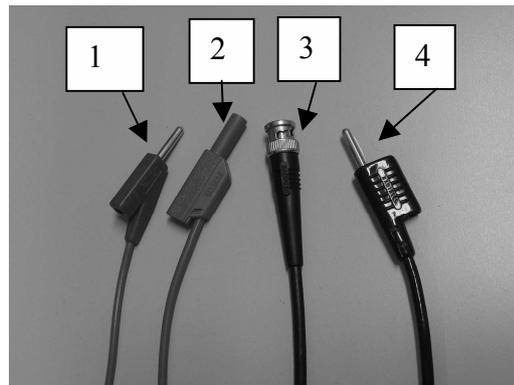


figure 2 : Fils de connexions

La figure 2 montre les différents câbles disponibles :

- 1) Fil avec fiche banane avec reprise arrière permet de doubler la connexion.
- 2) Fil avec fiche banane de sécurité (idem que 1 avec une protection plastique : il n'est pas possible de toucher la partie conductrice). Il est utilisé lors que l'ampérage est important. L'ampérage maximal est en général indiqué par une bague.
- 3) Câble coaxial avec fiche BNC. Ce câble comprend 2 conducteurs : un conducteur central pour le signal, et un conducteur en tresse servant de blindage. Le blindage est connecté à la masse (en général).
- 4) Câble coaxial avec fiche Banane. Le câble est identique au câble 3), et comprend alors 2 conducteurs. La fiche apparente est connectée au conducteur central, et la prise arrière est connectée au blindage (ne pas confondre avec les fils 1 et 2 qui ne disposent que d'un seul conducteur).

La figure 3 présente un câble coaxial comprenant un conducteur (1), un isolant (2) et le blindage en tresse (3).

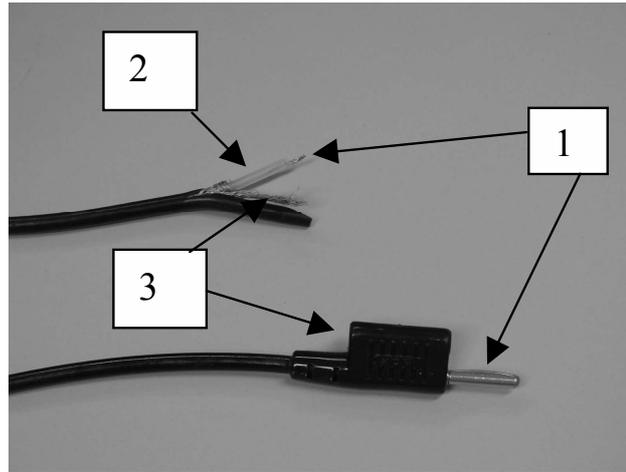


figure 3: Câble coaxial

I.4 Règles de câblage

Dans un premier temps il faut réaliser le câblage.

- 1) Disposer les appareils de façon logique afin d'éviter les longueurs et croisement de fils.
- 2) On connecte les différents éléments du montage en suivant le plan de câblage, en considérant les ampèremètres comme des éléments faisant partie intégrante du montage (car celui ci est branché en série)
- 3) On ajoute les appareils de mesure en parallèle : voltmètres et oscilloscope.

Dans le cas général, les câbles suivants seront utilisés:

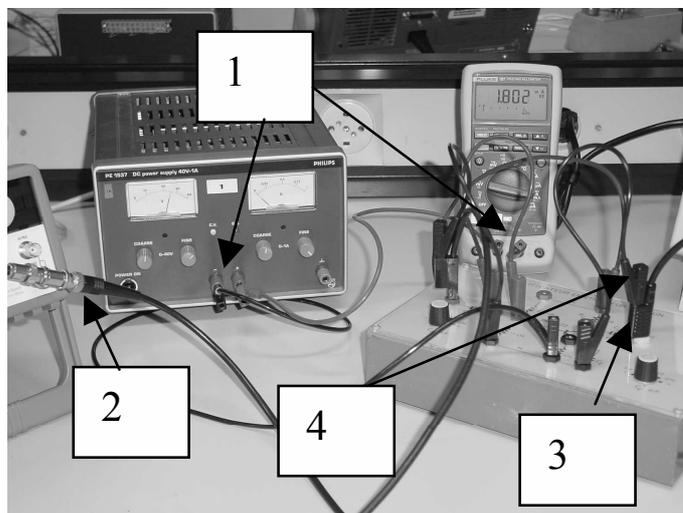


figure 4 : Connexion des différents éléments

- 1) -Des fils Bananes pour les alimentations (fil **rouge** pour l'alimentation positive, fil **noir** pour la masse, éventuellement bleu ou vert pour l'alimentation négative)
- Des fils bananes pour les multimètres ayant des fiches bananes (noir pour la masse).
- 2) Un câble coaxial **BNC** (coté générateur) pour alimenter le montage d'étude (avec fiche banane coté maquette (3) s'il n'y a pas de fiche BNC)
- 3) Les mesures vers les oscilloscopes sont faites avec des câbles coaxiaux ou avec une sonde $1/10^{\text{ème}}$ si on veut limiter l'effet capacitif.
- 4) La prise banane arrière du câble coaxial est reliée à la masse **par un fil court de couleur noire.**

Lorsqu'un générateur doit alimenter deux éléments (maquette et oscilloscope par exemple), on utilise un T coaxial (figure 5), les connexions folkloriques mélangeant différents types de connecteurs sont à éviter.

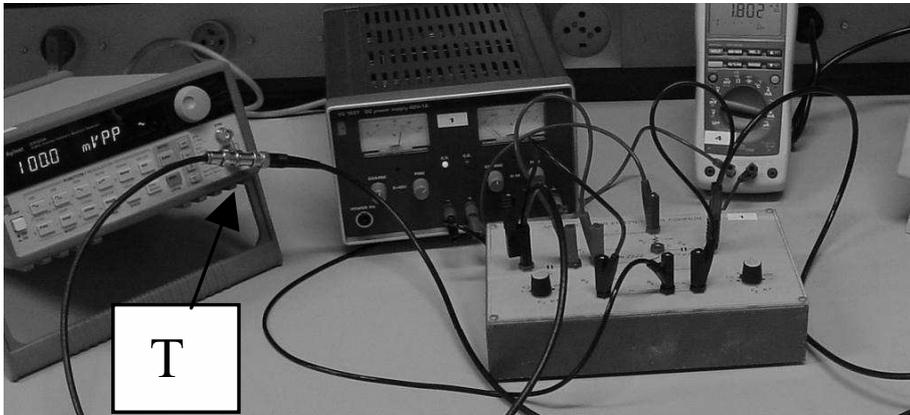


figure 5 : Utilisation de T

I.5 Règles de mise route d'un montage

Afin de préserver le bon fonctionnement du montage à étudier, il ne faut pas injecter de tensions sortant des plages de fonctionnement normales d'utilisation. Pour éviter cela il faut TOUJOURS :

- Régler les alimentations avant de les connecter.
- Eteindre les appareils lors du câblage (certains appareils possèdent une mise hors service de la sortie).
- Lorsque l'on modifie le réglage des générateurs ou alimentations : déconnecter l'appareil, effectuer son nouveau réglage puis le reconnecter.

Une fois les mesures terminées :

- Eteindre les alimentations et générateurs avant de décâbler ou bien,
- Déconnecter les générateurs.

II. MESURE D'IMPEDANCES

L'impédance d'entrée d'un dispositif est déterminée pour un dispositif en charge. Vu de l'extérieur, le dispositif peut être caractérisé entre autre par son impédance d'entrée (Figure 6).

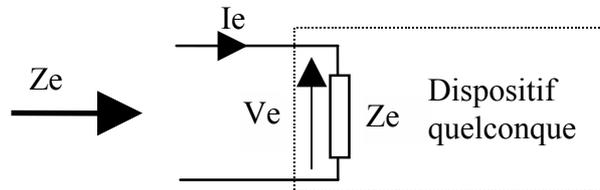


Figure 6: Représentation de l'impédance d'entrée

La valeur de l'impédance d'entrée est donnée par l'équation (1).

$$|Z_e| = \frac{|V_e|}{|I_e|} \quad (1)$$

Plusieurs méthodes de mesure de l'impédance d'entrée sont proposées, la méthode « directe », la méthode de la « résistance moitié » et l'introduction d'une résistance.

II.1 Méthode directe

L'impédance d'entrée peut être déterminée en mesurant le courant d'entrée I_e et la tension d'entrée V_e . L'impédance d'entrée est calculée à partir de la relation (1), mais en ayant une incertitude sur deux grandeurs (I_e et V_e). Il suffit de mesurer la valeur de la tension $|V_e|$ avec un voltmètre, et du courant $|I_e|$ avec un ampèremètre. La position des appareils de mesure est important en fonction des grandeurs mesurées et des appareils utilisés.

Deux types de mesure sont possibles, l'un avec le montage « amont » (voltmètre en amont de l'ampèremètre Figure 7), l'autre avec le montage « aval » (voltmètre en aval de l'ampèremètre Figure 8).

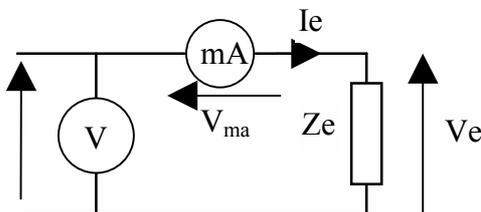


Figure 7: Montage amont

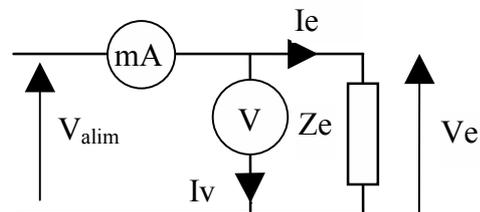


Figure 8: Montage aval

L'un de ces montages doit être judicieusement choisi car les appareils de mesure ne sont pas parfaits, autrement dit, le voltmètre est traversé par un courant, et il y a une chute de tension aux bornes de l'ampèremètre. Dans le cas du montage amont, le voltmètre mesure la somme des tensions aux bornes de l'impédance Z_e et de l'ampèremètre, la valeur de l'impédance mesurée est alors donnée par l'équation (2).

$$Z_{e_{\text{mesuré}}} = \frac{V_e + V_{mA}}{I_e} = Z_e + \frac{V_{mA}}{I_e} \quad (2)$$

Pour le montage aval, l'ampèremètre mesure le courant dans l'impédance d'entrée, ajouté au courant consommé par le voltmètre. La valeur de l'impédance mesurée est donnée par l'équation (3).

$$Z_{e_{\text{mesuré}}} = \frac{V_e}{I_e + I_v} \Rightarrow Y_{e_{\text{mesuré}}} = \frac{I_e + I_v}{V_e} = \frac{1}{Z_e} + \frac{I_v}{V_e} \quad (3)$$

En conclusion, le montage amont estime la valeur Z_e par excès et le montage aval par défaut. Le premier sera donc préférable pour de fortes valeurs de Z_e et le montage aval pour de faibles valeurs de Z_e . Les erreurs de mesure des appareils et les erreurs de lecture viennent s'ajouter aux imperfections des appareils.

II.2 Méthode de la « résistance moitié »

L'impédance d'entrée est parfois évaluée par la méthode de la résistance moitié. Pour ce faire, une résistance variable R_g est placée en série avec le dispositif (Figure 9).

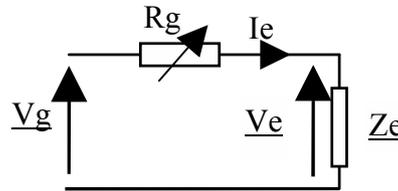


Figure 9 : Mesure de l'impédance d'entrée.

L'équation (4) donne l'expression de la tension V_e exprimée en fonction de V_g , R_g et \underline{Z}_e .

$$\underline{V}_e = \frac{\underline{Z}_e}{R_g + \underline{Z}_e} \cdot V_g \quad (4)$$

Si la résistance R_g est réglée de façon à avoir $R_g = \underline{Z}_e$, on aura la relation $|\underline{V}_e| = \frac{|V_g|}{2}$. Mais R_g

étant une résistance pure, cette relation est envisageable uniquement pour des impédances Z_e réelles. **Cette méthode ne sera donc valable que pour des impédances Z_e comportant de faibles parties imaginaires (devant la partie réelle), et permet d'avoir une approximation de l'impédance d'entrée uniquement dans ces conditions.** Par exemple, si Z_e est constituée d'une résistance en parallèle avec un condensateur, la méthode de mesure sera valable dans le

domaine des « basses » fréquences ($f \ll \frac{1}{2\pi \left(\frac{R_e R_g}{R_e + R_g} \right) C_e}$). Pour des « hautes » fréquences,

la méthode de mesure donnera des valeurs aberrantes.

La méthode de mesure consiste à régler R_g pour obtenir $|\underline{V}_e| = \frac{|V_g|}{2}$. La résistance R_g vaut alors la valeur de Z_e , si les conditions de l'approximation sont respectées.

II.3 Insertion d'une résistance

Cette méthode est une variante de la résistance moitié. Elle est utilisée lorsque le courant à mesurer est très faible. En effet, l'incertitude de la mesure par un ampèremètre est très importante.

Le montage réalisé est alors le même que pour la résistance moitié, la résistance est fixe et connue (Figure 10). La valeur du courant est alors donnée par la chute de tension aux bornes de la résistance R_g .

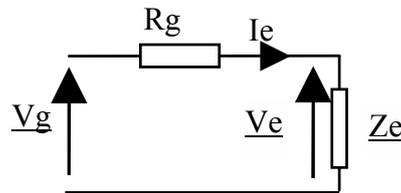


Figure 10 : Mesure de l'impédance avec résistance fixe

L'expression du courant est donnée par l'équation $|I_e| = \frac{|V_g - V_e|}{R_g}$. Pour mesurer l'expression

$|V_g - V_e|$, un voltmètre peut être inséré aux bornes de la résistance R_g en vérifiant que:

- le voltmètre permet une mesure en différentielle (voir pb de masse § VI)
- la valeur de R_g est très inférieure à l'impédance du voltmètre

Afin d'éviter les problèmes liés aux impédances et aux masses, une mesure indépendante de V_g et de V_e permet de déduire $|V_g| - |V_e| \neq |V_g - V_e|$. Il est possible de faire l'approximation $|V_g| - |V_e| = |V_g - V_e|$ si l'impédance d'entrée Z_e est résistive (ou quasiment). L'erreur de mesure est exactement liée aux mêmes hypothèses que pour la méthode de l'impédance moitié.

L'expression de l'impédance d'entrée est alors : $|Z_e| = \frac{R_g V_e}{|V_g - V_e|}$

III. IDENTIFICATION D'UN SYSTEME DU 1ER ORDRE

Certains systèmes électroniques peuvent être caractérisés comme un premier ordre. Ils sont définis par un Gain A et une constante de temps τ . Leur fonction de transfert peut être mise sous la forme $T_1(p) = \frac{A}{1 + \tau p}$ ou $T_2(p) = A \frac{\tau p}{1 + \tau p}$ où p est la variable de Laplace.

Il s'agit de déterminer expérimentalement le gain A et la constante de temps τ . La réponse à un échelon de ce genre de dispositif est une évolution exponentielle avec ($T_2(p)$) ou sans discontinuité ($T_1(p)$).

En pratique, il est possible de visualiser avec un oscilloscope un signal périodique (qui se répète dans le temps). Les mesures de constantes de temps seront réalisées avec un signal d'entrée rectangulaire vu comme une succession d'échelons.

Plusieurs méthodes de mesure sont envisageables pour mesurer une constante de temps lorsque l'on met un échelon à l'entrée.

Quelle que soit la méthode adoptée, la sortie du système doit atteindre un état final stable. Un bon choix de la fréquence du signal d'entrée est donc nécessaire afin d'avoir une période suffisamment importante pour laisser à la sortie, le temps d'atteindre un état stable. Par exemple le relevé de la Figure 11 ne permet pas de faire cette mesure, le système n'atteignant pas sa valeur finale. Dans ce cas de figure, il faut diminuer la fréquence du signal d'entrée.

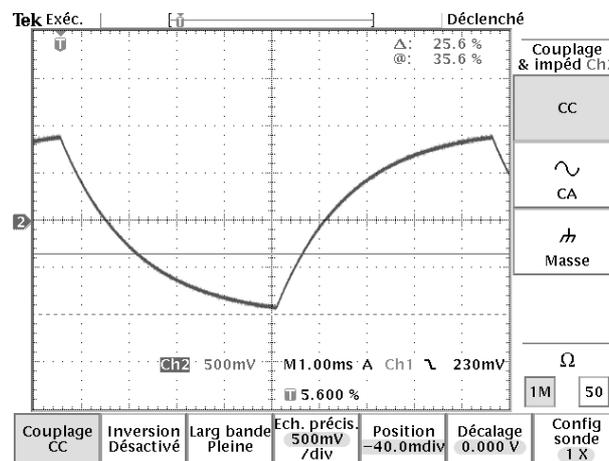


Figure 11 : évolution d'un système du premier ordre sans mesure possible

III.1 Mesure du gain A

Le relevé de A se fait tout simplement en calculant le rapport $\frac{\Delta V_{\text{exp}}}{\Delta V_{\text{échelon}}}$ où ΔV_{exp} est la variation exponentielle du signal de sortie et $\Delta V_{\text{échelon}}$ est l'amplitude de l'échelon. Dans le cas d'une fonction de transfert de type $T_2(p)$, ΔV_{exp} se mesure à l'instant de la discontinuité (Figure 142).

III.2 Mesure de la constante de temps

III.2.1 Pente à l'origine

La mesure de la constante de temps à partir de la mesure de la pente à l'origine est une méthode graphique peu précise.

Cette méthode peut être envisagée en mesurant précisément la pente dans la partie linéaire de l'exponentielle (en dilatant l'axe des temps et l'axe des Y voir Figure 13). Un oscilloscope muni de curseurs permet une mesure plus précise à condition de choisir correctement les déviations horizontales et verticales.

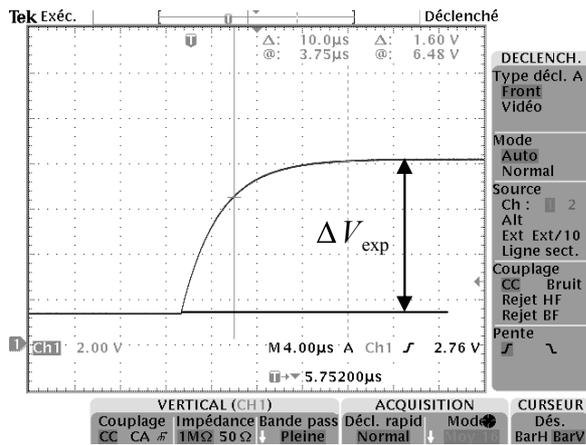


Figure 12: Mesure de l'amplitude

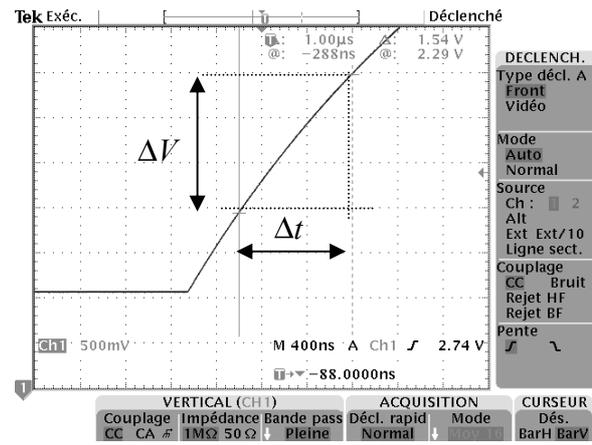


Figure 13 : Mesure de la pente

La mesure de ΔV_{exp} sans dilatation (Figure 12) et de la pente (Figure 13) permet de déduire τ .

$$\left(\tau = \frac{\Delta t}{\Delta V} \Delta V_{exp}\right).$$

III.2.2 Mesure du temps de montée t_m

Une mesure du temps de montée est une méthode assez précise et très simple à réaliser.

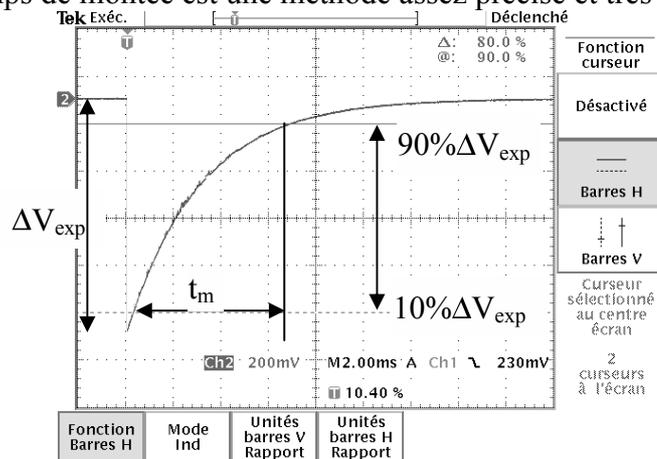


Figure 14 : mesure du temps de montée

Il suffit pour cela d'ajuster le signal sur les repères 0% et 100% de l'écran de l'oscilloscope en décalibrant la déviation verticale (Figure 14). Un demi-carreau est alors équivalent à 10% du signal. Le temps de montée est mesuré entre 10% et 90% de la valeur finale.

Dans le cas d'un oscilloscope numérique, les échelles en % ne sont pas toujours disponibles. La mesure peut tout de même se faire en dilatant encore la courbe sur 5 carreaux, puis utiliser les curseurs en mode % quand cette option est disponible.

La constante de temps est alors facilement calculée, car $t_m = 2,2\tau$, dans le cas d'un premier ordre.

Certains oscilloscopes numériques permettent de mesurer automatiquement le temps de montée d'un signal. Bien vérifier alors, que le temps de montée est défini comme le temps entre 10% et 90% du signal. La valeur initiale et la valeur finale doivent être visibles à l'écran pour éviter les mauvaises interprétations des mesures automatiques.

- **Précautions** : avoir une évolution complète à l'écran (de la valeur initiale à la valeur finale).
- Prévoir une sonde de tension si les impédances (capacité ou résistance) sont proches de celle de l'oscilloscope.

III.2.3 Mesure directe de τ

Le signal met une durée de τ pour atteindre 63% de la valeur finale. Obtenir 63% strictement n'est pas raisonnable, aussi cette méthode peut permettre d'obtenir un ordre de grandeur de τ , la mesure peut être plus précise en utilisant des curseurs.

IV. IDENTIFICATION D'UN SYSTEME DU SECOND ORDRE

La fonction de transfert d'un système du second ordre de type passe-bas se met sous la forme

$$T(p) = \frac{K}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}} \text{ où :}$$

K est le gain statique, m est le coefficient d'amortissement, et ω_0 est la pulsation propre. L'identification d'un système consiste à déterminer ces trois paramètres de façon expérimentale. L'identification peut se faire soit par un essai indiciel (réponse temporelle), soit par un essai fréquentiel (diagramme de Bode).

L'objectif est d'obtenir un modèle mathématique représentant le comportement de $T(p)$ à partir d'un essai expérimental.

IV.1 Identification par un essai indiciel

IV.1.1 Détermination de K

La détermination du gain statique est identique à celle d'un système du premier ordre. Comme le système du premier ordre, le gain statique est déterminé par un essai indiciel à condition que la sortie du système atteigne sa valeur finale (voir III.1).

IV.1.2 Détermination de m et de ω_0

Deux cas peuvent se présenter, en fonction de m . Si $m > 1$, le système est apériodique et peut se décomposer en deux premiers ordres, si $m < 1$ la réponse indicelle peut présenter des oscillations pseudo périodiques.

Dans les deux cas, la réponse temporelle du système présente une tangente de pente nulle à l'origine.

• Système apériodique

Dans le cas d'un système apériodique, le système peut se mettre sous la forme

$$T(p) = \frac{K}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}. \text{ Il s'agit de déterminer les constantes de temps } \tau_1 \text{ et } \tau_2.$$

• Méthode des pôles dominants

Lorsque le système présente un pôle dominant, (p_1 associé à τ_1 est dominant si $\tau_1 \gg \tau_2$), on peut considérer que le dispositif se comporte comme le premier ordre le plus lent, soit

$$T(p) \approx \frac{K}{(1 + \tau_1 p)}.$$

Cette méthode est une bonne approximation lorsque $\tau_1 \geq 10\tau_2$. L'identification devient alors celle d'un premier ordre (voir IV).

• Cas $m < 1$

Lorsque $m < 1$, la réponse indicielle peut présenter des oscillations (figure 15). La mesure du dépassement $D\%$ (en %), du temps de réponse à 5% t_r (temps mis pour qu'un système se stabilise dans l'intervalle $\pm 5\%$ de la valeur finale) et de la pseudo période T_p (période des oscillations amorties) permettent de déterminer la fonction de transfert $T(p)$.

$m=0,7$ est le cas optimum souvent recherché en asservissement, car il présente le temps de réponse minimum, avec un dépassement réduit.

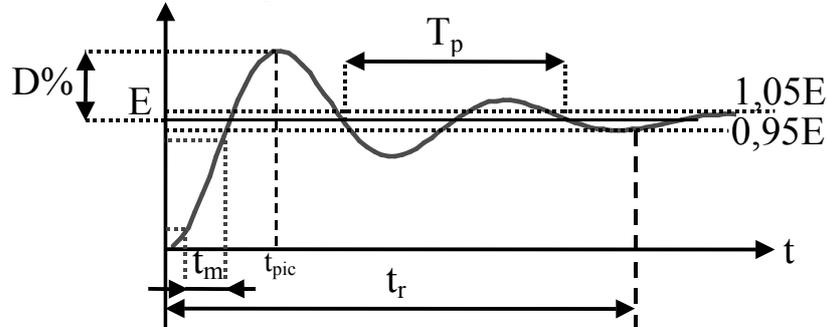


figure 15 : Réponse d'un système du second ordre ; $m < 1$

La réponse est caractérisée par :

- Le temps de réponse à 5% (ou autre) de la valeur finale
- Le dépassement $D\%$ exprimé en %
- Le temps de montée (temps mis pour parcourir l'intervalle 10% - 90% de la valeur finale E)
- T_p la pseudo période (pseudo pulsation $\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$).

Les mesures de ces différents paramètres permettent d'exprimer la fonction de transfert :

Pseudo pulsation	Dépassement en %	Temps de réponse à 5% approché ($m < 0,7$)	Temps de montée (10% à 90%)
$\omega_p = \sqrt{1 - m^2} \omega_0$	$D\% = 100e^{-\frac{\pi m}{\sqrt{1 - m^2}}}$	$t_r \approx \frac{3}{\omega_0 m}$	$t_m = \frac{1}{\omega_0 \sqrt{1 - m^2}} (\pi - a \cos(m))$

Les différents paramètres peuvent être retrouvés à partir de différents abaques. Un tableau de valeurs numériques est donné §IV.2.4.

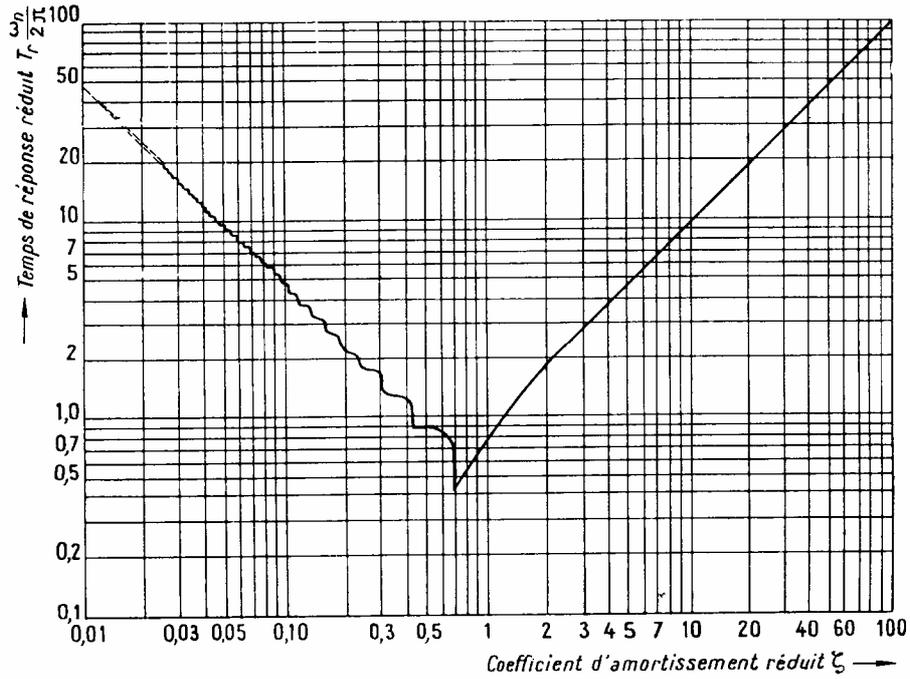


figure 16 : Temps de réponse en fonction de m (ou ζ sur cette figure)

L'abaque de la figure 16 donne le temps de réponse réduit à 5% $\frac{t_r \omega_0}{2\pi}$ en fonction de m .

La figure 17 donne le dépassement de la première oscillation en fonction de m .

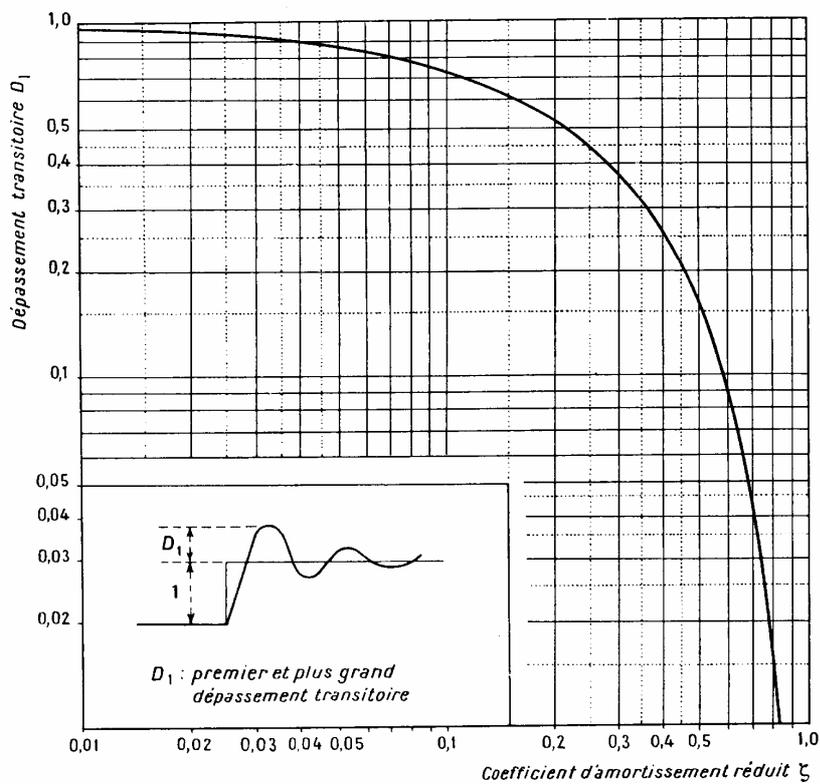


figure 17 : Dépassement D en fonction de m (ici ζ)

Remarque : Pour les faibles valeurs de m , les formules données dans le tableau précédent peuvent alors être simplifiées en considérant que $m \rightarrow 0$.

IV.2 Identification par un essai fréquentiel

L'identification d'un système du second ordre peut aussi se faire par le relevé du diagramme de Bode. Les diverses méthodes de relevé d'un diagramme de Bode sont présentées au paragraphe V.

IV.2.1 Allure du *diagramme* en fonction de *m*, Gain statique

Le facteur d'amortissement *m* détermine l'allure du diagramme de bode. Dans le cas $m > 1$, la fonction de transfert s'exprime sous la forme $T(p) = \frac{K}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ ou

$T(p) = \frac{K}{(1 + p/\omega_1)(1 + p/\omega_2)}$. Dans ce cas, le diagramme de gain en fonction de la

fréquence a l'allure donné figure 18. Pour $m < 1$, la réponse peut présenter une résonance dont le maximum dépend de la valeur de *m* (figure 19).

Quelle que soit la valeur de *m*, le gain statique en G_{0dB} dB se mesure aux basses fréquences et vaut $G_{0dB} = 20 \log(K)$.

IV.2.2 Cas $m > 1$, mesure des pulsations ω_1 et ω_2

Lorsque les deux pulsations ω_1 et ω_2 sont éloignées (au moins 2 décades), la courbe de gain possède une atténuation autour de -3 dB par rapport au diagramme asymptotique. Dans le cas général (quel que soit l'écart entre ω_1 et ω_2) les asymptotes en 0 et en $+\infty$ se coupent à la pulsation $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$. Si les pulsations ω_1 et ω_2 sont proches, leur mesure directe est difficile car l'atténuation n'est plus de -3 dB par rapport à l'asymptote, seule une mesure de ω_0 est alors envisageable. Le dispositif peut éventuellement s'approcher par un système d'ordre 2 possédant 1 pulsation double ω_0 .

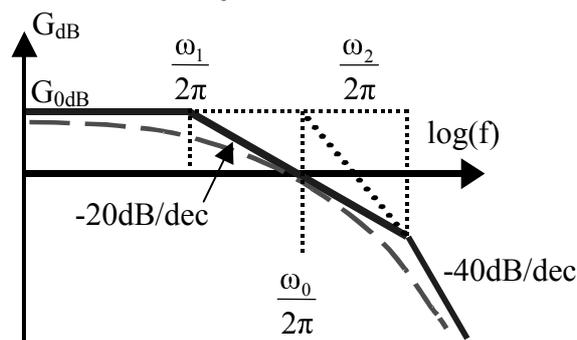


figure 18 : Réponse fréquentielle, cas $m > 1$

IV.2.3 Cas $m < 1$, mesure de *m* et des pulsations caractéristiques

Dans le cas $m < 1$, il s'agit de déterminer *m* et ω_0 . On peut les déduire à partir de plusieurs relevés, cf. figure 19 :

- la surtension M_{dB} et de sa pulsation associée ω_R ,
- la mesure de Q_{dB} à ω_0 (Attention les mesures de M_{dB} et Q_{dB} se font par rapport au gain statique G_{0dB}),

- la mesure de ω_0 par le diagramme des phases car le déphasage vaut $-\frac{\pi}{2}$,
- la mesure du ω_0 par le diagramme asymptotique de gain, les asymptotes se rejoignent à la pulsation ω_0 .

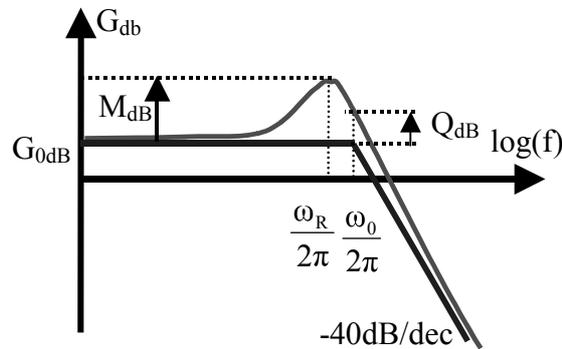


figure 19 : Réponse fréquentielle, cas $m < 1$

IV.2.4 Relations et valeurs caractéristiques

A partir des différents relevés et des relations suivantes, la fonction de transfert est déterminée.

Pulsation de résonance	Facteur de résonance	Facteur de qualité
$\omega_R = \omega_0 \sqrt{1 - 2m^2}$	$M_{dB} = 20 \log \left(\frac{1}{2m\sqrt{1 - m^2}} \right)$	$Q_{dB} = 20 \log \left(\frac{1}{2m} \right)$

On note que pour $m \ll 1$ les approximations suivantes peuvent être faites :

$$\omega_R \approx \omega_0 \text{ avec } M_{dB} \approx Q_{dB} \approx 20 \log \left(\frac{1}{2m} \right)$$

Le tableau suivant donne quelques valeurs numériques.

m	$t_m \omega_0$	$t_r \omega_0$ à 5%	$t_{pic} \omega_0$	$T_p \omega_0$	D en %	ω_R / ω_0	M_{dB}
0,10	1,68	30,00	3,16	6,31	72,92	0,99	14,02
0,15	1,74	20,00	3,18	6,36	62,09	0,98	10,56
0,20	1,81	14,00	3,21	6,41	52,66	0,96	8,14
0,25	1,88	11,00	3,24	6,49	44,43	0,94	6,30
0,30	1,97	10,10	3,29	6,59	37,23	0,91	4,85
0,35	2,06	7,90	3,35	6,71	30,92	0,87	3,67
0,40	2,16	7,70	3,43	6,86	25,38	0,82	2,70
0,45	2,28	5,40	3,52	7,04	20,53	0,77	1,90
0,50	2,42	5,30	3,63	7,26	16,30	0,71	1,25
0,55	2,58	5,30	3,76	7,52	12,63	0,63	0,74
0,60	2,77	5,20	3,93	7,85	9,48	0,53	0,35
0,65	3,00	5,00	4,13	8,27	6,81	0,39	0,11
0,70	3,29	3,00	4,40	8,80	4,60	0,14	0,00
0,75	3,66	3,10	4,75	9,50	2,84	-	-
0,80	4,16	3,40	5,24	10,47	1,52	-	-
0,85	4,91	3,70	5,96	11,93	0,63	-	-
0,90	6,17	4,00	7,21	14,41	0,15	-	-
0,95	9,04	4,10	10,06	20,12	0,01	-	-

V. RELEVÉ D'UN DIAGRAMME DE BODE

Les méthodes proposées permettent de faire des mesures de gain et de phase d'un diagramme de Bode. On considère un circuit quelconque (Figure 20). Quelle que soit la méthode adoptée, ce circuit doit être linéaire, la validité de cette hypothèse doit être vérifiée pour toutes les méthodes utilisées. Les circuits passifs ne posent pas de problème. En revanche, il faudra vérifier la linéarité lors de mesures sur des circuits actifs. Dans le cas particulier des circuits actifs résonnants à fort coefficient de qualité, des fréquences harmoniques peuvent apparaître : l'interprétation des résultats devra alors être faite avec précautions.

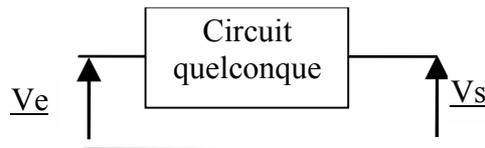


Figure 20

V.1 Relevé de la courbe de gain

La méthode point par point est couramment utilisée. Elle consiste à relever le gain et la phase pour chaque fréquence. Différentes techniques point par point sont présentées, mais aussi des méthodes permettant de connaître rapidement l'allure du gain en fonction de la fréquence.

Pour toutes les méthodes, le signal d'entrée doit toujours être sinusoïdal. En effet seule la sinusoïde ne contient pas d'harmonique : une seule fréquence est mise en jeu !

V.1.1 Méthode de base

Le relevé est reporté sur un papier dont l'échelle des abscisses (la fréquence) est en général logarithmique.

L'échelle des ordonnées est classiquement donnée en décibel (dB). Pour avoir cette échelle en décibel, plusieurs techniques sont envisageables :

1. Avec une échelle semi-log (logarithmique en x et linéaire en y), le gain G_{dB} du dispositif est calculé selon la formule suivante après avoir mesuré les tensions efficaces ou crêtes à crêtes (V_{cc} ou V_{pp}) d'entrée V_e et de sortie V_s :

$$G_{dB} = 20 \log \left(\frac{V_s}{V_e} \right)$$
. Une mesure de tension est toujours plus précise en utilisant un voltmètre, l'erreur de mesure est plus élevée avec un oscilloscope, mais **ATTENTION aux bandes passantes des appareils !**

2. Afin d'éviter les calculs, l'utilisation d'une échelle Log-Log permet de reporter directement le rapport $\left| \frac{V_s}{V_e} \right|$ (ou directement V_s en faisant attention que la tension V_e soit constante). Le relevé donne alors directement l'allure du gain G_{dB} , sans faire de calcul.

V.1.2 Unités de tension en dB ou dBm

Une tension est une grandeur physique alors que le décibel, dB, est un rapport entre 2 valeurs d'une grandeur physique. Lorsque qu'une tension est exprimée en dB ou dBm, celle-ci est définie par rapport à une tension de référence V_{ref} .

Une tension exprimée en dB est définie par rapport à une tension de référence V_{ref} qui dissipe 1W dans une charge de référence R_{ref} .

Une tension exprimée en dBm est définie par rapport à une tension de référence V_{ref} qui dissipe 1mW dans une charge de référence R_{ref} .

La relation entre une tension de valeur V_{volt} exprimée en Volt et sa valeur V_{dB} exprimée en dB

ou dBm est $V_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{volt}}{V_{ref}}\right)$ ou également $V_{volt} = V_{ref} \cdot 10^{\frac{V_{dB}}{20}}$

Supposons que $R_{ref} = 600\Omega$. La tension de référence V_{ref} qui dissipe une puissance P de 1mW est alors égale à $V_{ref} = \sqrt{P \cdot R_{ref}} = 0,775V$. Une tension de 0dBm avec une charge de référence

$R_{ref} = 600\Omega$ est donc égale à 0,775V. Dans les mêmes conditions, une tension de 3dBm est égale à $0,775 \cdot 10^{\frac{3}{20}} = 1,09V$

Si $R_{ref} = 50\Omega$ alors la tension de référence V_{ref} qui dissipe une puissance P de 1mW est égale à 0,223V. Dans ces conditions, une tension de 3dBm est égale à $0,223 \cdot 10^{\frac{3}{20}} = 0,315V$.

V.1.3 Mesure directe du gain point par point

Afin d'éviter tout calcul, certains appareils ont l'avantage d'avoir des échelles en décibel.

• Utilisation d'un millivoltmètre électronique

Le millivoltmètre électronique est un appareil dont le traitement est analogique, l'affichage de ce type d'appareil est en général à aiguille (Type PM 2454, PM 2554 ou équivalents)

La mesure est effectuée pour une tension de référence donnée V_{ref} , en général 0,775V (ce qui correspond à une dissipation de 1mW dans une charge de 600 Ω). Le gain du montage G_{dB} est obtenu par la différence des mesures $G_{e_{dB}}$ en entrée et $G_{s_{dB}}$ en sortie, comme le montre l'équation (5).

$$G_{dB} = G_{s_{dB}} - G_{e_{dB}} = 20 \cdot \log\left(\frac{|V_S|}{V_{ref}}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{|V_e|}{V_{ref}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{|V_S|}{V_{ref}} \cdot \frac{V_{ref}}{|V_e|}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{|V_S|}{|V_e|}\right) \quad (5)$$

La lecture de la mesure se fait sur l'échelle logarithmique (échelle bleue sur les appareils PM 2554 ou 2454). Le cadran de lecture est muni d'un miroir, pour réduire les erreurs de mesure, la lecture se fait lorsque l'aiguille est confondue avec son reflet dans le miroir.

Par exemple :

une mesure de la tension d'entrée donne une déviation de l'aiguille de -5dB sur le calibre -10dB, la valeur mesurée de $G_{e_{dB}}$ est -5dB -10dB = -15dB.

La mesure de la tension de sortie donne une déviation de l'aiguille de -5dB sur le calibre +10dB, la valeur de $G_{s_{dB}}$ est de -5dB +10dB = 5dB.

La valeur du gain en décibel du montage pour la fréquence de travail sera alors : $G_{dB} = +20dB$. Un choix judicieux de la tension d'entrée facilitera la mesure. En effet, si la tension d'entrée est réglée sur 0dB, il n'y a alors aucun calcul à faire !

- Précautions de mesure : Toujours vérifier le niveau de la tension d'entrée.

Avantages :

- les millivoltmètres électroniques permettent une mesure précise des faibles tensions
- ces appareils ont des bandes passantes relativement importantes (jusqu'à 12MHz).
- les impédances d'entrées sont identiques à celles des oscilloscopes, on peut donc y connecter une sonde $1/10^{\text{ème}}$.

• Utilisation d'un appareil numérique

Certains multimètres numériques permettent des mesures directement en dB (Fluke 45, Fluke 89, PM 2718X ou équivalents). La référence de tension est en général la même que celle décrite pour les millivoltmètres électroniques (0 dB correspond à 1mW dans 600Ω , parfois 1mW dans 50Ω , l'unité est alors en dBm). Le principe est exactement le même que pour les millivoltmètres électroniques. La tension V_e est mesurée en dB ($G_{e\text{dB}}$) puis la tension V_s en décibel ($G_{s\text{dB}}$), le gain devient $G_{\text{dB}} = G_{s\text{dB}} - G_{e\text{dB}}$.

Ces appareils ont des fonctions "mesures relatives" (appelées Rel ou Δ selon le type d'appareil). Elle peut être utilisée pour mesurer directement le gain, il suffit pour cela de prendre comme référence la tension d'entrée. La procédure à suivre est la suivante :

- mesurer la tension d'entrée en dB (l'indication est alors de G_e dB)
- se placer en mesure relative (La référence est $G_{e\text{dB}}$, l'appareil doit donc indiquer 0dB)

La mesure de la tension de sortie est donc référencée à $G_{e\text{dB}}$, l'indication devient donc $G_{s\text{dB}} - G_{e\text{dB}}$ soit le gain du montage recherché G_{dB} .

- **Avantages** : lecture directe, très pratique pour déterminer rapidement la bande passante d'un montage.
- **Précautions** : vérifier le gain d'entrée. Rester dans la bande passante de l'appareil (10kHz à 500kHz), plus faible que celle d'un millivoltmètre électronique !

V.1.4 Mesures automatiques du Gain : Wobulation ou mode Sweep

Pour éviter de prendre un nombre important de points, il est possible de faire varier automatiquement la fréquence du signal d'entrée. Certains générateurs proposent cette fonction, c'est la wobulation. Le générateur est un wobulateur lorsqu'il se trouve en mode Sweep.

On règle alors, une fréquence min, une fréquence max, la durée du balayage et le mode de balayage (linéaire ou logarithmique). En mode linéaire, la fréquence varie linéairement avec le temps ($f = \alpha t$), en mode logarithmique, le $\log(f)$ varie avec le temps ($\log(f) = \beta t$).

Il est préférable d'utiliser le mode linéaire pour des faibles plages de variations de fréquence ($F_{\text{max}} < 10.F_{\text{min}}$). Pour faire un relevé de Bode, l'amplitude du signal d'entrée doit rester constante !

Le principe de la mesure est assez simple, la fréquence varie en fonction du temps, l'amplitude du signal de sortie varie alors en fonction du temps. L'amplification à un instant donné est l'amplification à la fréquence correspondante.

• Wobulation ou Mode Sweep avec Oscilloscope

La mise en œuvre de la wobulation est différente selon les constructeurs des générateurs. Afin de pouvoir faire le relevé, plusieurs solutions sont possibles selon le type d'appareil :

- Le générateur fournit une information uniquement à l'instant initial de la mesure qui correspond à la fréquence min (la fréquence max étant déduite à partir de la durée de la mesure)

C'est le cas du **HP33120** (ou **Agilent 33120**) qui fournit un top de syncho (front descendant) au moment où $f=F_{min}$ (sortie Sync en face avant).

- Le générateur fournit un signal proportionnel à la fréquence (ou à $\log(f)$)

Certains appareils (**du type PM 5133, PM 5139, PM 5192 ou équivalent**), disposent d'un signal donnant une image de la fréquence (int mod pour le PM 5133, Sweep (OUT) dans le cas des PM 5139 et PM 5192).

La Figure 21 permet de visualiser le signal wobulé et le signal proportionnel à la fréquence.

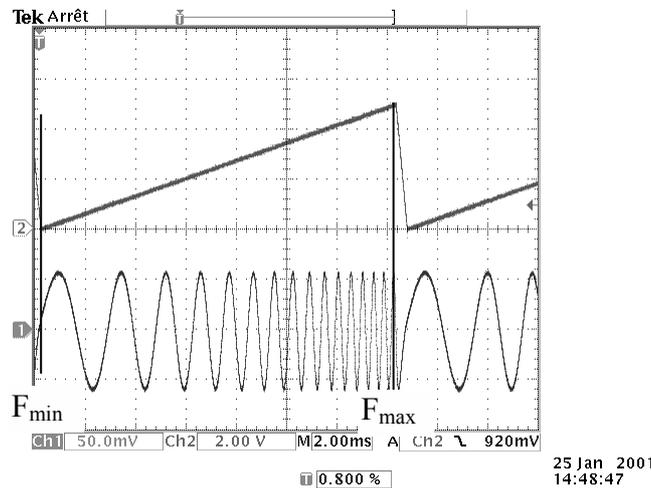


Figure 21

Les différents appareils proposent divers modes de balayage :

1. **Continu** : une fois la plage de fréquence balayée, la sortie recommence à F_{min} (cas de la Figure 21)
2. **Monocoup** : le balayage n'a lieu qu'une seule fois. Une fois le balayage effectué, la fréquence reste à la fréquence F_{max} ou revient à la fréquence F_{min} (selon les appareils et leurs possibilités)

• Exemple de mesure

Pour relever une courbe de gain d'un dispositif entre 5kHz et 500kHz, le générateur est réglé en mode continu avec une excursion en fréquence logarithmique sur 2 décades. La tension de sortie V_s du dispositif obtenue est donnée Figure 22. Comme le balayage est continu, l'oscilloscope est synchronisé en mode normal, par le front descendant du signal en dent de scie.

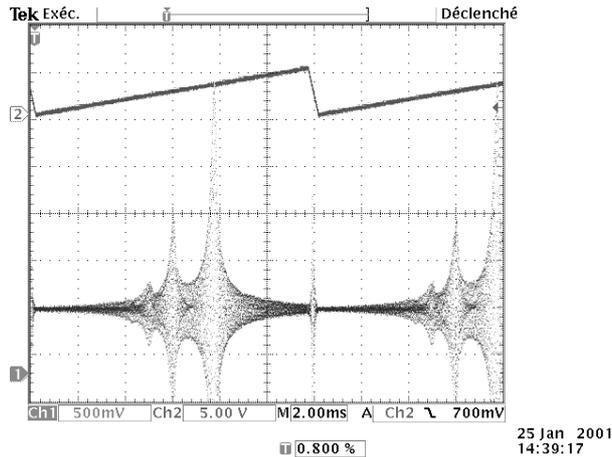


Figure 22

Afin de pouvoir négliger les effets dynamiques (liés au régime transitoire), il faut choisir un temps de balayage élevé par rapport aux temps d'établissement du signal de sortie !

Le signal temporel de sortie est identique dans le cas d'un générateur avec un top de synchro. Simplement, le générateur ne fournit pas de rampe !

Afin de mesurer la réponse du dispositif sur différentes plages fréquences, il est possible d'ajuster F_{min} et F_{max} en réglant le temps de balayage.

Sur la Figure 23, le balayage de F_{min} à F_{max} est ajusté sur 10 carreaux, afin d'avoir un calcul simple : deux décades entre 5kHz et 500kHz, soit une décade pour 5 carreaux. Le temps de balayage est ici de 20ms (petit devant la période des fréquences mises en jeu).

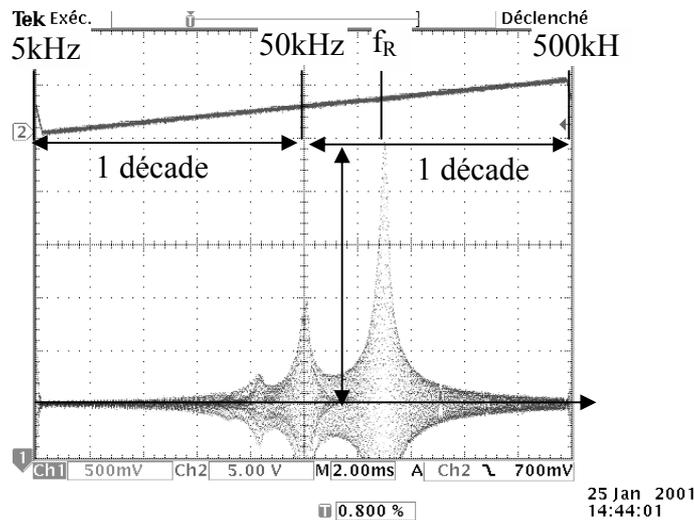


Figure 23 : relevé à l'oscilloscope de la réponse en fréquence

- Mesure de f_R :

Soit f_{ref} , la fréquence de référence, on choisit ici 50kHz

$$1 \text{ décade} = \log\left(\frac{f_{max}}{f_{ref}}\right) \Leftrightarrow 5 \text{ carreaux. } 1,5 \text{ carreaux} \Leftrightarrow \log\left(\frac{f_R}{f_{ref}}\right) \text{ décade.}$$

Une règle de trois amène à :
$$\frac{\log\left(\frac{f_R}{f_{ref}}\right)}{\log\left(\frac{f_{max}}{f_{ref}}\right)} = \frac{1,5}{5} \Rightarrow f_R = f_{ref} 10^{\frac{1,5}{5}}$$

On trouve $f_R = 100\text{kHz}$. L'amplitude de la résonance permet de déterminer le gain à cette fréquence.

Lorsque l'on dispose d'un oscilloscope numérique, l'utilisation de fonctions telles que la mémorisation ou la détection d'enveloppe (Figure 24) peut s'avérer utiles.

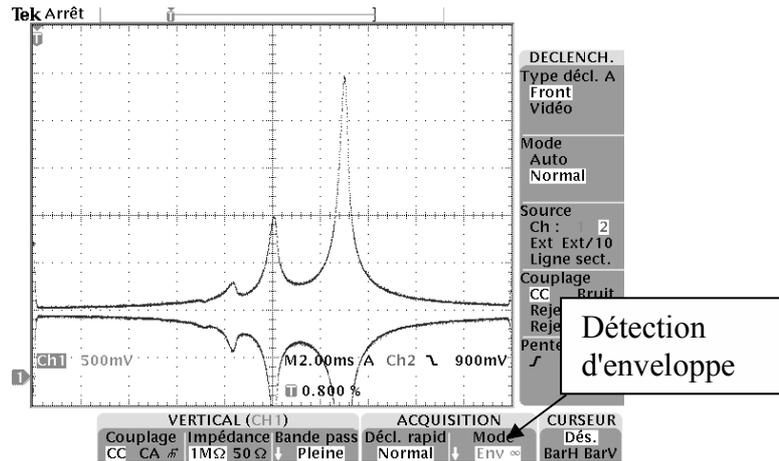


Figure 24 : Réponse en fréquence avec une détection d'enveloppe

- **Avantages:** permet d'obtenir une allure du gain simplement avec du matériel courant, rapide à mettre en œuvre (avec l'habitude !).
- **Inconvénients :** calcul à effectuer pour mesurer la fréquence ; la mesure donne l'amplitude et non le gain en dB.
- **Précautions:** vérifier de toujours être en régime linéaire, les non-linéarités pouvant faire apparaître des fréquences supplémentaires liées aux harmoniques.
Eviter le couplage AC lorsque le balayage commence en basse fréquence.

• Variante : Utilisation du mode XY

Lorsque le générateur présente un signal en rampe, le relevé peut se faire en mode XY. Le tracé donne alors l'amplitude en fonction de la fréquence (ou du $\log(f)$). Ce mode n'est pas possible avec des générateurs donnant un top de synchronisation au départ de la mesure (type HP33120)

V.1.5 Utilisation d'un ampli log

L'utilisation d'un convertisseur donnant en sortie une tension continue proportionnelle au logarithme décimal de la valeur crête de la tension d'entrée (alternative), permet d'avoir une tension image du gain en dB. Le schéma de principe de la mesure est donné Figure 25.

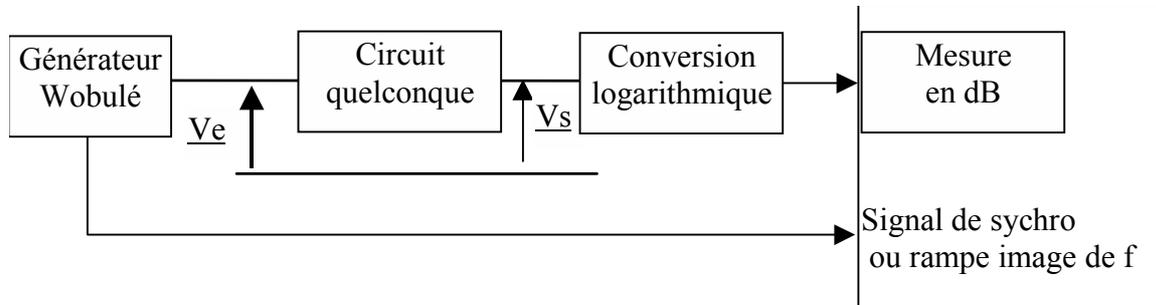


Figure 25 : principe d'un relevé automatique de Bode avec Ampli log

Le convertisseur logarithmique (ou ampli log type PM5171) présente un temps de réponse non négligeable. Un temps de mesure important est donc nécessaire. Lorsque la mesure arrive à sa valeur finale F_{max} , le retour à la fréquence initiale (F_{min}) perturbe la mesure (Figure 26). Après cette discontinuité de fréquence, un temps d'établissement est nécessaire pour revenir à un état stable. Pour cette raison, la mesure doit se faire en mode monocoup (un seul déclenchement) : le générateur est en attente à la fréquence F_{min} , UNE SEULE mesure, lente est lancée.

Le relevé peut se faire alors sur un oscilloscope (cf. § V.539164672.1376672) **obligatoirement numérique** ou avec une table traçante (cf. § V.1.7).

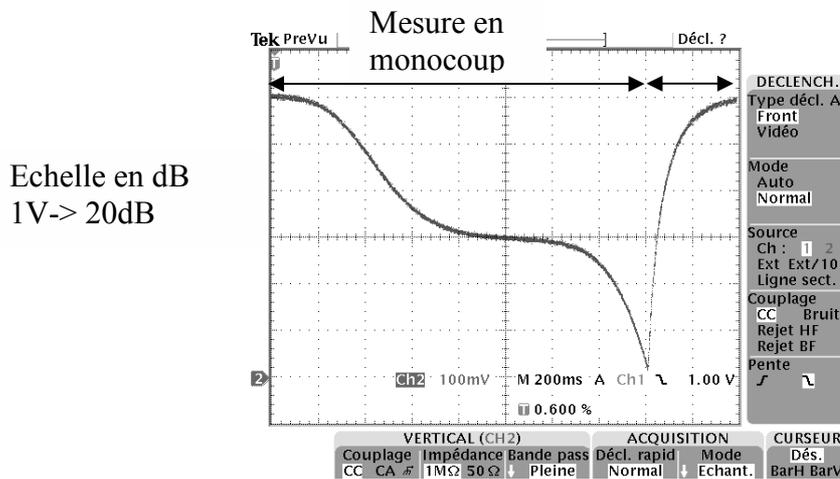


Figure 26 Relevé à l'oscilloscope du Gain en dB en fonction de la fréquence

- **Précautions :**

Vérifier la non saturation de l'ampli log. La bande passante de l'ampli PM5771 est limitée à 350kHz, les mesures au dessus de cette fréquence seront donc erronées.

Il ne doit pas y avoir de discontinuité de fréquence pendant la mesure.

La variation ΔV correspond à une variation ΔG déterminée par l'ampli log (1V pour 20dB avec le PM5771), il faut cependant déterminer l'origine (mesure manuelle par exemple).

- **Avantage :** lecture du gain directe en dB,
- **Inconvénients :** l'échelle de fréquence n'est pas logarithmique, utilisation de matériel spécifique (ampli log), l'oscilloscope doit impérativement être numérique.

V.1.6 Aspects pratiques :

Utilisation du mode monocoup :

HP33120 : touche **SINGLE** en face avant, le début de la mesure se fait sur le front descendant de la sortie sync.

PM5133 : le générateur en attente : stand by, touche **Trig** pour démarrer la mesure.

PM5139 : touche **SINGLE** : monocoup, touche **CONT** : balayage en continu

Plusieurs types de balayage :

Mode 1 : Variation continue de F_{min} à F_{max} , retour à F_{min} instantanément

Mode 2 : Variation continue de F_{min} à F_{max} : arrêt à F_{max}

Mode 3 : Variation continue de F_{min} à F_{max} , retour à F_{min} par une variation continue.

V.1.7 Utilisation d'une table traçante

L'enregistrement de la courbe peut s'effectuer avec une table traçante. Dans ce cas de figure, le générateur délivre un signal qui varie proportionnellement à $\log(f)$ (Figure 25). La table traçante est utilisée en mode XY, le signal image de la fréquence est en X et le Gain en Y.

En utilisant une feuille semi-logarithmique, on règle l'origine de la table traçante sur la fréquence initiale de la mesure, et en décalibrant la voie X, la fin du tracé doit correspondre à la fréquence F_{max} de la mesure.

- **Avantages** : l'axe des X est directement gradué en échelle log et l'axe Y en dB

- **Inconvénients** :

Nécessite du matériel spécifique ampli log + table traçante.

Imprécisions de mesure liées aux réglages, et aux cumuls des erreurs de chaque appareil

Ne peut être fait avec un générateur délivrant un top de synchro.

- **Précautions** :

Vérifier que l'ampli log ne sature pas; mesures à faire très lentement (Bande passante de la table de l'ordre de quelques Hertz) + temps de réponse de l'ampli log.

Un réglage peu précis des valeurs supérieure et inférieure de fréquence entraîne une erreur sur toutes les valeurs !

V.2 Mesure de la phase

V.2.1 Méthode de Lissajous

La méthode Lissajous permet de déterminer graphiquement le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux. Le déphasage de signaux non sinusoïdaux s'estime par une méthode temporelle, e.g. avec la méthode des 9 carreaux avec le fondamental de chaque signal. Le principe est de représenter la sinusoïde de sortie \underline{V}_s en fonction de celle d'entrée \underline{V}_e . Le diagramme est donc une ellipse (Figure 27) plus ou moins ouverte selon le déphasage entre les deux signaux. Si le déphasage est de $\frac{\pi}{2}$ ou $\frac{3\pi}{2}$, le diagramme sera un cercle, si le déphasage est nul ou égal à π , le diagramme sera une droite.

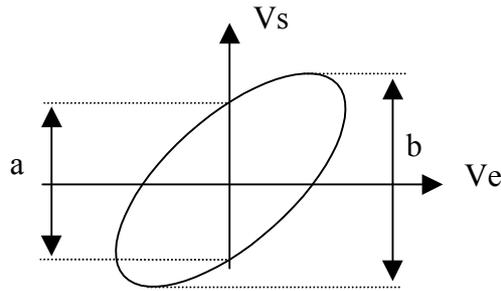


Figure 27 : Diagramme de Lissajoux

La mesure de déphasage se fait en faisant le rapport de la distance de croisement avec l'axe des ordonnées (distance a) avec l'amplitude maximale de l'ellipse (distance b). En considérant que quand $V_e = 0$, on a $V_e = V_m \cos(\omega t) = 0$ pour $\omega t = \pm \frac{\pi}{2}$, alors

$$V_s = V_{sm} \cos(\omega t + \varphi) = \frac{b}{2} \cos\left(\pm \frac{\pi}{2} + \varphi\right) = \frac{a}{2}, \text{ on en déduit donc que } |\sin(\varphi)| = \frac{a}{b}.$$

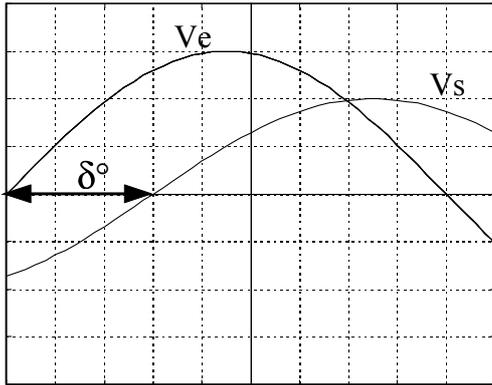
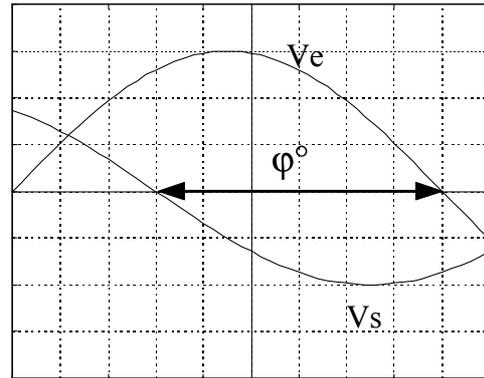
Le signe du déphasage se détermine en observant lequel des deux signaux est en avance par rapport à l'autre. Le déphasage détermine le sens d'inclinaison de l'ellipse.

- **Avantages** : simple
 - **Inconvénients** : forte imprécision pour les angles de faibles valeurs
mesure délicate pour des faibles fréquences surtout lorsque les signaux présentent une composante continue
- Précautions** : bien régler les origines, attention au couplage de l'oscilloscope. Le couplage des entrées de l'oscilloscope doit être en DC, surtout pour les basses fréquences, car en mode AC, le condensateur de couplage de l'oscilloscope introduit un déphasage et fausse la mesure. Pour ce type de mesure, le couplage AC peut être utilisé pour supprimer la composante continue uniquement aux fréquences élevées.

V.2.2 Méthode des 9 carreaux

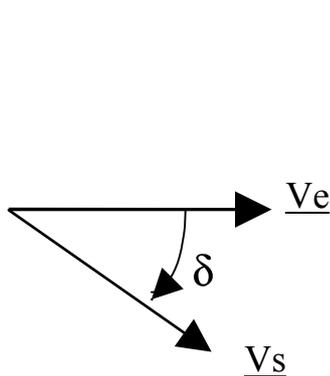
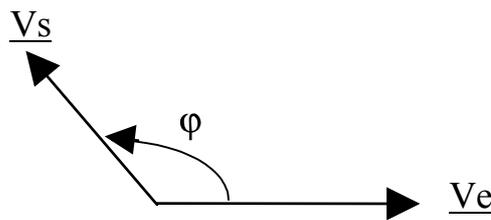
Le principe de la méthode des 9 carreaux consiste à dilater une demi période d'une sinusoïde (soit angle de π ou de 180°) sur 9 carreaux en décalibrant la base de temps. Un carreau correspond alors à un angle de 20° . La mesure du déphasage entre deux signaux se fait en observant le nombre de carreaux entre deux passages à l'origine. On s'intéressera à deux passages dans le même sens : soit des fronts montants (Figure 28-a), soit à des fronts descendants (Figure 28-b).

ATTENTION : Pour faire une mesure correcte, les axes de symétrie des deux signaux doivent être confondus sur l'oscilloscope. Les Figure 28-a et Figure 28-b donnent des exemples de mesure de déphasage par la méthode des 9 carreaux.

Figure 28-a: Mesure de δ Figure 28-b: Mesure de φ

En appliquant la méthode de mesure, les déphasages (en valeur absolue) entre les signaux $\underline{V_e}$ et $\underline{V_s}$ sont déterminés : $|\delta|=60^\circ$ et $|\varphi|=120^\circ$.

Le signe du déphasage doit en effet être déterminé. Le déphasage est défini comme l'angle entre le vecteur $\underline{V_s}$ et le vecteur $\underline{V_e}$. Pour déterminer le signe, il suffit de connaître le vecteur qui passe en premier par l'origine. Un diagramme de Fresnel permet de mettre en évidence le signe du déphasage sans ambiguïté comme le montrent les Figure 29 et 21.

Figure 29 : Représentation de δ Figure 30 : Représentation de φ

Les représentations graphiques permettent de déduire que $\delta = -60^\circ$ et $\varphi = +120^\circ$.

- **Avantages :**

simple et ne nécessite pas de calcul

Pour les faibles déphasages, la fonction loupe par 10 (Xmag sur les oscilloscopes de la gamme PM) permet d'obtenir une précision de 2° par carreau.

- **Inconvénients :** certains oscilloscopes numériques ne permettent pas de dilater la base de temps.

- **Précautions :**

Recalibrer la base de temps une fois les mesures terminées ! Attention au couplage AC surtout pour les signaux de basse fréquence.

La précision est bien meilleure lorsque les signaux coupent franchement l'axe de mesure.

Adapter la déviation verticale en conséquence.

V.2.3 Mesure du déphasage avec un oscilloscope numérique

Lorsque l'axe horizontal ne peut pas être décalibré, l'utilisation de curseur peut présenter un avantage. Avec le même principe que la méthode des neufs carreaux, une règle de trois est faite entre une période qui correspond à 360° et le nombre de carreaux du déphasage à mesurer. Dans la plupart des cas, l'oscilloscope fait ce calcul à l'aide des curseurs.

Procédure à suivre :

- Placer les curseurs sur une période complète (Figure 31)
- Choisir les unités en degrés (Figure 31)
- Définir les unités d'une période à 360° (Figure 32)
- Faire la mesure

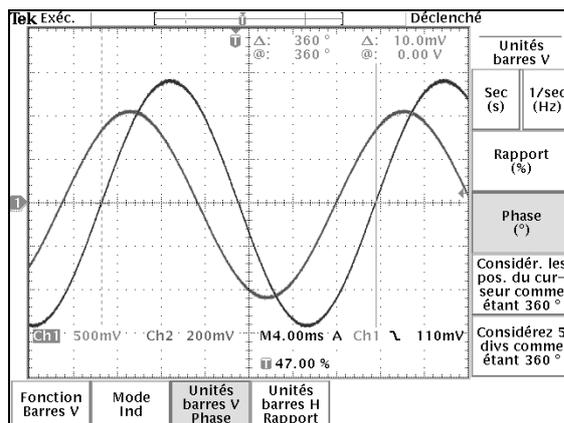


Figure 31 : Placement des curseurs sur 360°

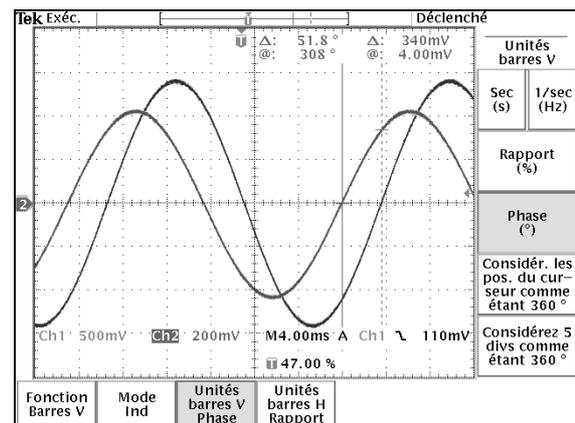


Figure 32 : Mesure du déphasage avec curseurs

- **Précautions :**

Bien centrer le signal, attention aux composantes continues et au couplage de l'oscilloscope, bien choisir la déviation verticale pour la meilleure précision

- **Avantages :** mesure directe

- **Inconvénients :** peu précis pour les faibles déphasages, laborieux lors de nombreux relevés à différentes fréquences, la position 360° devant être définie à chaque mesure.

V.3 Mesure automatique de gain et de phase

Sur le principe d'une mesure avec un signal wobulé, il n'y a pas de techniques simples permettant la mesure de phase automatiquement. Il existe cependant des Gain/phasemètres permettant ce genre de mesure. Ce type d'appareil peut être utilisé de la même manière que l'ampli logarithmique pour les mesures de phase, avec table traçante ou oscilloscope.

VI. PROBLEMES DE MESURE SUR LES DISPOSITIFS D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Dans le cas d'un pont en H, cf. figure 33, on souhaite visualiser à l'aide d'un oscilloscope la tension aux bornes de la charge. L'oscilloscope pourrait être connecté comme indiqué sur la figure 33.

Pour des raisons de sécurité la masse de l'oscilloscope est connectée à la prise de terre de l'appareil, ainsi que l'alimentation de V_{DC} .

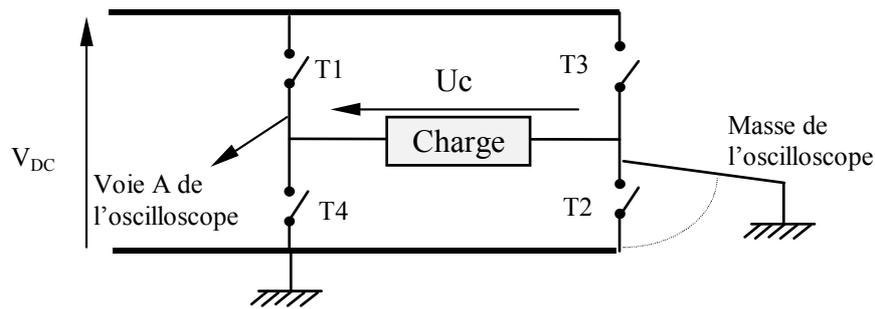


figure 33 : Mesure de U_c

Les masses de l'oscilloscope et de l'alimentation V_{DC} sont alors connectées entre elles et court-circuitent l'interrupteur T_2 . Compte tenu des fortes tensions que l'on peut avoir en électronique de puissance, l'oscilloscope peut être gravement endommagé, car le courant de court-circuit passe par celui-ci.

Pour ces raisons, **il est conseillé, lorsque l'on ne sait pas comment est faite l'alimentation V_{DC} , de ne jamais brancher la masse de l'oscilloscope sur un point flottant du montage.**

Plusieurs possibilités sont alors envisagées :

- L'utilisation des fonctions de l'oscilloscope,
- L'utilisation d'une sonde différentielle,
- Faire des mesures sur un montage avec isolation galvanique.

VI.1 Utilisation des fonctions de l'oscilloscope

Pour faire une mesure en différentiel avec un oscilloscope, on connecte deux des deux voies de l'oscilloscope aux points deux potentiels dont on souhaite visualiser la tension, comme donné par la figure 34.

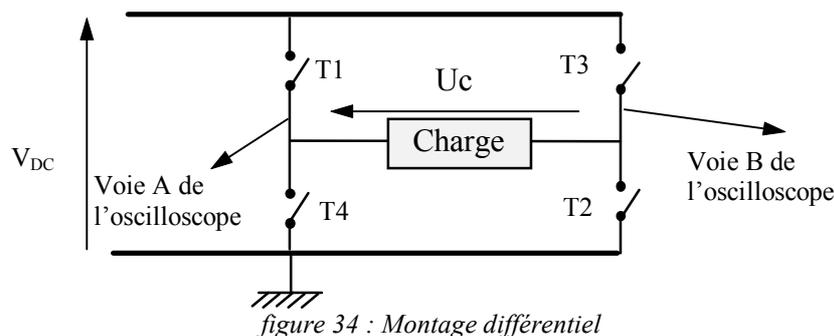


figure 34 : Montage différentiel

On visualise alors la tension A par rapport à la masse de l'oscilloscope, et la tension B par rapport à la masse de l'oscilloscope.

En affichant inversant la voie B et en ajoutant la voie A (invB ADD), on visualise la tension $U_c = V_A - V_B$

L'inconvénient de cette méthode est d'utiliser deux voies de l'oscilloscope pour ne visualiser qu'un signal.

VI.2 Sonde différentielle

Afin de n'utiliser qu'une seule voie de l'oscilloscope, on peut utiliser une sonde différentielle. Cette sonde permet de se connecter aux bornes de la charge, et d'être complètement isolée de l'oscilloscope (figure 35).

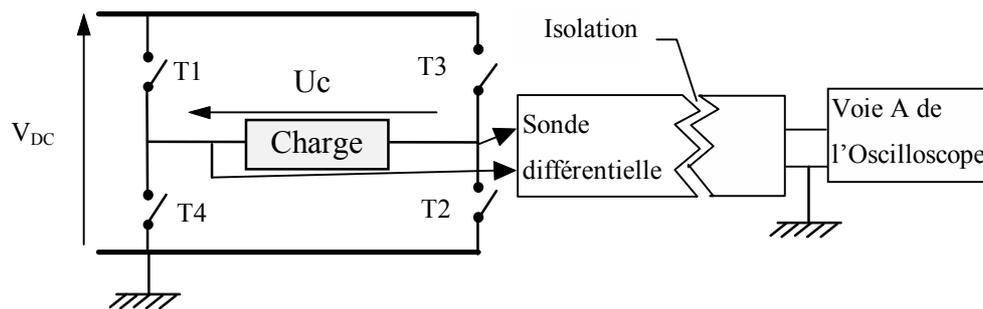


figure 35 : Utilisation d'une sonde différentielle

VI.3 Isolation galvanique

Dans l'unique cas où il y a une isolation galvanique, (de l'alimentation V_{DC} ou de l'oscilloscope), les masses des deux dispositifs seront totalement indépendantes, on pourra alors utiliser l'oscilloscope directement sur le montage (figure 36).

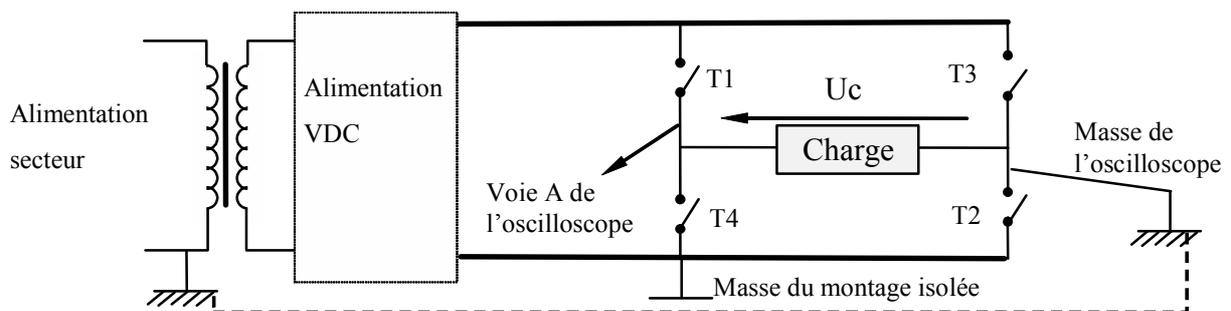


figure 36 : Montage avec isolation Galvanique

Dans ce cas de figure, l'isolation galvanique est réalisée par un transformateur d'isolement en amont du montage. Il n'y a alors aucune connexion électrique entre le montage étudié, et le secteur (et par conséquent l'oscilloscope).

Il est alors possible de faire des mesures directement avec l'oscilloscope, en veillant de prendre la référence de tension au même point. Par exemple, il ne sera pas possible de visualiser simultanément la tension V_{DC} et la tension U_c .

VII. NOTICES TECHNIQUES DE QUELQUES APPAREILS

VII.1 Multimètre de table TTI 1705

Introduction

This programmable true RMS multimeter has dual measurement capability and a dual display † which can show either two independent measurements, a measurement together with its range or a measurement with one of the many calculated functions available. The key features are:

- Large, high contrast, liquid crystal dual display
- 0.04% basic accuracy, 12000 counts
- Manual or autoranging
- DC and AC Volts, DC and AC current, Resistance, Capacitance, and Frequency measurement; Continuity and Diode checks.
- True RMS AC and AC+DC measurement.
- Display nulling and Ohms null
- Touch hold mode - holds onto a stable reading until updated.
- 100 point data logger.
- Measurement post-processing to give:
 - dB and power measurement with settable reference impedance
 - percentage deviation from a user-entered reference
 - linear scaling with offset
 - limits comparison for go/no go testing
 - automatic storage of minimum and maximum readings.
- Remote control via addressable RS232 (standard) or GPIB (factory-fit option) interfaces.
- Closed case software calibration.
- Fully compliant with EN61010-1 Safety and EN61326 EMC standards.

† Licensed under U.S. Pat. 4,825,392

Specifications

ACCURACY

Accuracies apply for 1 year, 19°C to 25°C. Temperature coefficient outside these limits is <0.1 x quoted range accuracy per °C.

Range	Accuracy	Resolution
100mV	0.06% ± 3 dig.*	10µV
1000mV	0.04% ± 2 dig.	100µV
10V	0.06% ± 2dig.	1mV
100V	0.06% ± 2 dig.	10mV
1000V	0.06% ± 2 dig.	100mV

DC Volts

Input Impedance:

10MΩ//<100pF, except for Vdc plus Vac measurement when the 1MΩ ac attenuator is in parallel with the 10MΩ dc attenuator.

Maximum Input: 1kV DC or AC peak, any range

NMR: >80dB at 50/60Hz.

1kΩ Unbalanced CMR: >90dB at DC/50Hz/60Hz.

Maximum Allowable AC Voltage While Measuring DC Voltage

Range	Max AC
100mV, 1000mV	6V
100V	200V

The table shows the maximum AC voltage (45Hz-50kHz) that can be applied without affecting the accuracy of the DC measurement.

AC Volts (True RMS)

Range	Accuracy			Resolution
	45Hz - 10kHz	10kHz - 20kHz	20kHz - 50kHz	
100mV		1% ± 20 dig.		10µV
1000mV				100µV
10V	0.2% ± 20 dig	0.2% ± 20 dig	1% ± 50 dig	1mV
100V			1% ± 80 dig	10mV
750V			1% ± 80 dig	100mV

Accuracy specifications apply for readings between 1,000 and 12,000 counts. Additional error at crest factor = 3 typically 0.2%.

Extended frequency performance (Typical):

- 100mV range <-1dB at 50kHz; 1000mV, 10V and 100V ranges <-1dB at 100kHz

Input Impedance: 1MΩ//<100pF

Maximum Input: 750V rms, 1000V peak, any range;

1kΩ Unbalanced CMR: >80dB at DC/50Hz/60Hz

(AC + DC) Voltage Accuracy

Total measurement error will not exceed the sum of the separate ac and dc accuracy specifications plus 1 display count.

Resistance

Range	Accuracy	Resolution
100Ω	0.1% ± 3 dig.	10mΩ
1000Ω	0.08% ± 2 dig.	100mΩ
10kΩ	0.09% ± 2 dig.	1Ω
100kΩ	0.09% ± 2 dig.	10Ω
1000kΩ	0.12% ± 2 dig.	100Ω
10MΩ	0.5% ± 2 dig.	1kΩ
20MΩ	0.5% ± 2 dig.	10kΩ

Maximum Input: 300V DC or AC rms, any range.
Maximum Open Circuit Voltage: 4V

DC Current

Range	Accuracy	Resolution
1mA	0.1% ± 3 dig.	100nA
100mA	0.1% ± 3 dig.	10uA
10A	0.3% ± 3 dig. to 1A	1mA
10A	1.0% ± 3 dig. to 5A	1mA
10A	3% ± 10 dig. to 10A	1mA

Maximum Input: mA ranges - 500mA DC or AC rms, 250V, fuse protected.
10A range - 10A DC or AC rms, 250V, fuse protected.
Typical Voltage Burden: mA ranges - <250mV
10A range - <500mV

AC Current (True RMS)

Range	Accuracy (45Hz - 10kHz)	Resolution
1mA	0.35% ± 20dig.	100nA
100mA	0.35% ± 20 dig.	10uA
10A	0.5% ± 20 dig. to 1A	1mA
10A	1.2% ± 20 dig. to 5A	1mA
10A	3% ± 20 dig. to 10A	1mA

Accuracy specifications apply for readings between 1,000 and 12,000 counts. Additional error at crest factory = 3 typically 0.2%.
Maximum Input: mA ranges - 500mA DC or AC rms, 250V, fuse protected.
10A range - 10A DC or AC rms, 250V, fuse protected.
Typical Voltage Burden: mA ranges - <250mV
10A range - <500mV

Frequency

Range	Accuracy	Resolution
100Hz	0.01% ± 1 dig.	0.01Hz
1000Hz		0.1Hz
10kHz		1Hz
100kHz		10Hz

Range: 10Hz to 100kHz
Input sensitivity: Better than 30m Vrms (100mV range), better than 10% of range for all other Vac and Iac ranges.

Capacitance

Range	Accuracy	Resolution
10nF	2% ± 5 dig.	10pF
100nF		100pF
1uF		1nF
10uF		10nF
100uF	5% ± 5 dig.	100nF

Continuity and Diode Test

Continuity: 1000Ω range selected; audible tone sounds for impedance <10Ω.
Diode Test: Test current approximately 0.5mA; displays voltages up to 1.2V.
Maximum Open Circuit Voltage: 4V
Maximum Input: 300V DC or AC rms, any range.

DISPLAY

Display Type: High contrast LCD. Main display 4½ digits 17mm high, secondary display 5 digits 10mm high.
Scale Length: 4½ digits (12000 counts) in most modes.
Annunciators: LCD annunciators for all ranges, functions and program modes.
Reading Rate: Varies with function, maximum 4/sec.
Overflow: Display flashes 12000 if input too great for range.
Overflow: Displays -Or- if calculated result overflows display.

COMPUTING FUNCTIONS

Null (Relative) Stores current reading and subtracts it from future readings.
Ω Null: Additional non-volatile function for nulling test lead resistance.
Hold: Reading is frozen
T-Hold (Touch & Hold): Reading is frozen when stable.
dB: Displays measurement in dBm relative to 600Ω or other user-entered impedance.

VII.2 Multimètre de table Fluke 45

DC VOLTAGE

Gamme	Résolution			Précision	
	Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide	(6 Mois)	(1 Année)
300 mV	—	10 μ V	100 μ V	0.02% + 2	0.025% + 2
3V	—	100 μ V	1 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
30V	—	1 mV	10 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
300V	—	10 mV	100 mV	0.02% + 2	0.025% + 2
1000V	—	100 mV	1V	0.02% + 2	0.025% + 2
100 mV	1 μ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
1000 mV	10 μ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
10V	100 μ V	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
100V	1 mV	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6
1000V	10 mV	—	—	0.02% + 6	0.025% + 6

Impédance d'entrée

10 M Ω en parallèle avec <100 pF

REMARQUE

En mode d'affichage double et lorsque les fonctions Volts alt. et Volts cont. sont sélectionnées, le séparateur d'entrée cont. de 10 M Ω est en parallèle avec le séparateur alt. de 1 M Ω .

COURANT CONT.

Gamme	Résolution			Précision	Tension charge totale*
	Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide		
30 mA	—	1 μ A	10 μ A	0.05% + 3	0.45V
100 mA	—	10 μ A	100 μ A	0.05% + 2	1.4V
10 A	—	1 mA	10 mA	0.2% + 5	0.25V
10 mA	100 nA	—	—	0.05% + 15	0.14V
100 mA	1 μ A	—	—	0.05% + 5	1.4V
10 A	100 μ A	—	—	0.2% + 7	0.25V

* Typique au niveau de pleine échelle

RCM réelle de la tension CA, du couple CA

Gamme	Résolution		
	Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide
300 mV	—	10 μ V	100 μ V
3V	—	100 μ V	1 mV
30V	—	1 mV	10 mV
300V	—	10 mV	100 mV
750V	—	100 mV	1V
100 mV	1 μ V	—	—
1000 mV	10 μ V	—	—
10V	100 μ V	—	—
100V	1 mV	—	—
750V	10 mV	—	—

Précision

Fréquence	Précision Linéaire			Précision dB		Puissance*	Entrée Maximale à haute Fréquence
	Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide	Niveau lent/moyen	Niveau rapide		
20-50 Hz	1% + 100	1% + 10	7% + 2	0.15	0.72	2% + 10	750 V
50 Hz -10 kHz	0.2% + 100	0.2% + 10	0.5% + 2	0.08	0.17	0.4% + 10	750 V
10-20 kHz	0.5% + 100	0.5% + 10	0.5% + 2	0.11	0.17	1% + 10	750 V
20-50 kHz	2% + 200	2% + 20	2% + 3	0.29	0.34	4% + 20	400 V
50-100 kHz	5% + 500	5% + 50	5% + 6	0.70	0.78	10% + 50	200 V

* Erreur en mode puissance n'excèdera pas deux fois la spécification de la précision linéaire.

COURANT ALT.

Gamme	Résolution			Tension charge totale*
	Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide	
10 mA	100 nA	—	—	0.14V
30 mA	—	1 μ A	10 μ A	0.45V
100 mA	1 μ A	10 μ A	100 μ A	1.4V
10 A	100 μ A	1 mA	10 mA	0.25V

* Typique au niveau de pleine échelle

Précision

Gamme	Fréquence	Résolution		
		Niveau lent	Niveau moyen	Niveau rapide
mA (To 100 mA)	20-50 Hz	2% + 100	2% + 10	7% + 2
mA (To 100 mA)	50 Hz-10 kHz	0.5% + 100	0.5% + 10	0.8% + 2
mA (To 100 mA)	10-20 kHz	2% + 200	2% + 20	2% + 3
A (1-10A)	20-50 Hz	2% + 100	2% + 10	7% + 2
A (1-10A)	50 Hz-2 kHz	1% + 100	1% + 10	1.3% + 2
A (0.5 to 1A)	20-50 Hz	2% + 300	2% + 30	7% + 4
A (0.5 to 1A)	50Hz-2 kHz	1% + 300	1% + 30	1.3% + 4

VII.3 Millivoltmètre PM 2554

4

1. INTRODUCTION

GENERAL

The Philips AC millivoltmeter PM 2554 is a sensitive and accurate measuring instrument suitable for floating measurements from 50 μV up to 300 V in the frequency range from 2 Hz up to 12 MHz.

The instrument can be powered by mains.

By the very great bandwidth and sensitivity the instrument has a wide range of applications, e.g. measurements on LF and HF amplifiers, carrier-wave telephony, electro-acoustical as well as for measurements on transducers and measuring-transformers, etc.

The d.c. or a.c. output chosen by an internal jumper, makes it possible to employ the instrument as an a.c./d.c. converter or as an a.c. amplifier.

The instrument has a great indicating speed, a high temperature stability and is quickly ready for use.

The 12 measuring ranges of 1 mV up to 300 V f.s.d. overlap so that a high reading accuracy is obtained.

The moving-coil instrument is provided with a mirror scale with the ranges 0-30 and 0-100 as well as dB scale from -20 dB...+ 2 dB (total span -80 dB...+ 52 dB).

By means of the measuring-probe PM 9336 the input impedance can be changed from 1 $\text{M}\Omega // 30 \text{ pF}$ except capacity measuring cable (100 pF) into 10 $\text{M}\Omega // 11 \text{ pF}$ to permit measurements on very high ohmic circuits.

2. TECHNICAL DATA

Properties expressed in numerical values with tolerances are guaranteed by the factory.

Numerical values without tolerances serve only for information and represent the properties of an average instrument.

2.1. Electrical

Measuring range 50 μV ...300 V divided into 12 ranges from 1 mV...300 V (f.s.d.)

dB Measuring range -80 dB...+ 52 dB (12 ranges)
0 dB = 1 mW into 600 Ω , 0.775 V

Frequency range 2 Hz...12 MHz

Input impedance direct 1 $\text{M}\Omega // 33 \text{ pF}$
with PM 9336: 10 $\text{M}\Omega // 11 \text{ pF}$

Accuracy

Frequency		
10 Hz	— 400 kHz	$\pm 1\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d.
2 Hz	— 10 Hz	$\pm 3\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d.
400 kHz	— 2 MHz	$\pm 2\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d.
2 MHz	— 6 MHz	$\pm 2\%$ of reading, $\pm 3\%$ f.s.d.
6 MHz	— 12 MHz	$\pm 4\%$ of reading, $\pm 4\%$ f.s.d.

Note: By application of probe PM 9336 the accuracy will decrease 3% of reading.

Pre-deflection	< 3 scale divisions (terminating resistance $\leq 500 \Omega$) Influence on accuracy: 10% pointer deflection $\leq 0.45\%$ 30% pointer deflection $\leq 0.15\%$
Temperature range	0...+ 45°C
Temperature coefficient	$\leq 1^\circ/100^\circ\text{C}$
Effect of mains voltage variations	Additional error of $1^\circ/100$
Rectifying circuit for the meter section	Average value rectifier
Meter scale	Mirror scale with knife-edge pointer Calibrated in rms values of sinusoidal input voltages Linear division from 0...103 and 0...325 dB scale from -20 dB...+ 2 dB
Overload protection	In the ranges 1 mV to 300 mV: 300 V for frequencies between 2 Hz and 10 kHz 10 V for frequencies above 10 kHz Other ranges: 300 V for frequencies between 2 Hz and 12 MHz
Max. permissible voltage (all ranges)	Between Hi and Lo 400 Vd.c. Between Lo and housing 500 Vd.c. or 500 V _{pp}
Common mode rejection ratio (between Lo and housing)	In the 1 mV range: Frequency 10 Hz ... 1 kHz > 140 dB 1 kHz... 10 kHz > 130 dB 10 kHz...100 kHz > 120 dB <i>Note: These values decrease with 10 dB/range in the higher ranges.</i>
Impedance between Lo and housing	1 G Ω
Output	D.c. or a.c. output (chosen by internal jumper)
D.C. output	Output resistance 1 k Ω Output voltage 1 V short-circuit proof
A.C. output	Output impedance 600 Ω in serial with 47 μF Output voltage 50 mV short-circuit proof
Accuracy d.c. output	Frequency 10 Hz - 400 kHz $\pm 1\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d. 2 Hz - 10 Hz $\pm 3\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d. 400 kHz - 2 MHz $\pm 2\%$ of reading, $\pm 1\%$ f.s.d. 2 MHz - 6 MHz $\pm 2\%$ of reading, $\pm 3\%$ f.s.d. 6 MHz - 12 MHz $\pm 4\%$ of reading, $\pm 4\%$ f.s.d.
Supply	Mains voltage: 90 V...132 V or 180 V...265 V, 50/60 Hz.

VII.4 Oscilloscope numérique Tektronix TDS 1002

Annexe A : Spécifications

Spécifications concernant l'oscilloscope (Suite)

Verticale	
Précision du gain CC	±3 % pour le mode d'acquisition Echantillon ou Moyenne, 5 V/div à 10 mV/div
	±4 % pour le mode d'acquisition Echantillon ou Moyenne, 5 mV/div et 2 mV/div
Précision de mesure CC, mode d'acquisition par Moyennage	Type de mesure Moyenne de ≥ 16 signaux, la position verticale étant définie sur zéro
	Précision ±(3 % × lecture + 0,1 div + 1 mV) lorsque la valeur 10 mV/div ou supérieure est sélectionnée. ±(3 % × (lecture + position verticale) + 1 % de la position verticale + 0,2 div) Ajouter 2 mV pour les réglages de 2 mV/div à 200 mV/div. Ajouter 50 mV pour les réglages de > 200 mV/div à 5 V/div.
Répétabilité de mesure en volts, mode d'acquisition par Moyennage	Ecart en volts entre deux moyennes quelconques de signaux ≥ 16 acquis dans des conditions ambiantes et de configuration identiques

Annexe A : Spécifications

Spécifications concernant l'oscilloscope (Suite)

Verticale		
Bande passante analogique en modes Echantillon et Moyennage au BNC ou avec la sonde P2200, Couplée en CC	TDS1012, TDS2012 et TDS2014	TDS2022 et TDS2024
	60 MHz†*	100 MHz†*
Bande passante analogique en mode Détection de crête (50 s/div à 5 μs/div**), type	20 MHz* (quand l'échelle verticale est réglée sur < 5 mV)	TDS1012, TDS2012, TDS2014, TDS2022 et TDS2024
	50 MHz†*	75 MHz†*
Limite de bande passante analogique sélectionnable, type	20 MHz* (quand l'échelle verticale est réglée sur < 5 mV)	
	20 MHz*	
Limite de fréquence inférieure, couplée en CA	≤ 10 Hz au BNC	
	≤ 1 Hz lorsque vous utilisez une sonde passive 10X	
Temps de montée au BNC, type	TDS1002 et TDS2002	TDS1012, TDS2012 et TDS2014
	< 5,8 ns	< 3,5 ns
Réponse à la détection de crête**	Capture 50 % ou plus de l'amplitude des impulsions d'une largeur ≥ 12 ns (50 s/div à 5 μs/div) dans les 8 divisions verticales centrales	

† Lorsque l'échelle verticale est réglée sur ≥ 5 mV.

* Bande passante réduite à 6 MHz avec une sonde 1X.

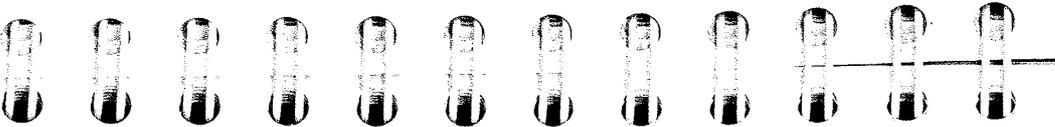
** L'oscilloscope repasse en mode Echantillon lorsque le réglage SEC/DIV (échelle horizontale) est compris entre 2,5 μs/div et 5 ns/div sur les modèles à 1 G éch./s ou entre 2,5 μs/div et 2,5 ns/div sur les modèles à 2 G éch./s. Le mode Echantillon peut toujours capturer des parasites d'une largeur de 10 ns.

VII.5 Oscilloscope numérique Tektronix TDS 30xx

Spécifications (suite)

Verticale		
Limite de bande passante analogique, type	Sélectionnable entre 20 MHz, 150 MHz (pas disponible sur le TDS3012B ou le TDS3014B), ou Pleine	
Limite de fréquence inférieure, couplage CA, type	7 Hz pour 1 M Ω , réduite d'un facteur de dix avec une sonde passive 10X ; 140 KHz pour 50 Ω	
Réponse de détection de crête ou impulsion d'enveloppe, type	Largeur minimum d'impulsion avec amplitude de ≥ 2 div pour capter une amplitude de 50 % ou plus	
Précision de gain CC	Fréquences d'échantillonnage ≤ 125 M éch./s	Fréquences d'échantillonnage ≈ 250 M éch./s
	1 ns	1/fréquence d'échantillonnage
Précision de mesure CC	$\pm 2\%$, ramenée à 0,025%/°C pour des températures inférieures à +18 °C, et supérieures à +30 °C, en mode d'acquisition Echantillon ou Moyenne	
Mode d'acquisition Echantillonnage, type	Type de mesure	Précision CC (en volts)
	Mesure absolue de tout point du signal	$\pm [0,02^2 \times \text{mesure} + (\text{décalage position}) + \text{précision du décalage} + 0,15 \text{ div} + 0,6 \text{ mV}]$
	Ecart de tension entre deux points d'un signal	$\pm [0,02^2 \times \text{mesure} + 0,15 \text{ div} + 1,2 \text{ mV}]$
	Mesure absolue de tout point du signal	$\pm [0,02^2 \times \text{mesure} - (\text{décalage position}) + \text{précision du décalage} + 0,1 \text{ div}]$
	Ecart de tension entre deux points d'un signal	$\pm [0,02^2 \times \text{mesure} + 0,05 \text{ div}]$

2 0,02 term. (composant de gain) ramené à 0,00025/°C au-dessus de 30 °C



Spécifications (suite)

Verticale				
Plage de décalage	Plage d'échelle	Plage de décalage		
	1 mV/div à 9,95 mV/div	± 100 mV		
	10 mV/div à 99,5 mV/div	± 1 V		
Précision de décalage	100 mV/div à 995 mV/div	± 10 V		
	1V/div à 10 V/div	± 100 V		
Remarque : convertissez le décalage constant et la position en volts en les multipliant par le réglage volts/div.				
Horizontale				
Résolution (horizontale) d'acquisition	Normal (enregistrement 10 000 points)	Déclenchement rapide (enregistrement 500 points)		
	Fréquence d'acquisition maximum, type	TDS301xB - TDS302xB	TDS303xB - TDS306xB	TDS304xB - TDS306xB
Plage de fréquence d'échantillonnage Normal	400 signaux/s	700 signaux/s	2 600 signaux/s	3 600 signaux/s
	TDS301xB	TDS302xB	TDS304xB	
	100 éch./s à 1,25 G éch./s	100 éch./s à 2,5 G éch./s	100 éch./s à 5 G éch./s	
	5 éch./s à 1,25 G éch./s	5 éch./s à 2,5 G éch./s	5 éch./s à 5 G éch./s	
	4 ns/div à 10 s/div	2 ns/div à 10 s/div	1 ns/div à 10 s/div	

VII.6 Multimètre portable Fluke 187

Model 187 & 189
 Manuel d'introduction

Spécifications de base

Fonction	Gammes/Description
Tension cc	de 0 à 1000 V
Tension ca, mesure efficace vraie	de 2,5 mV à 1000 V – 100 kHz de largeur de bande
Précision de base	Tension cc : 0,025 % Tension ca : 0,4 %
Courant cc	de 0 à 10 A (20 A pendant 30 secondes)
Courant ca, mesure efficace vraie	de 25 µA à 10 A (20 A pendant 30 secondes)
Résistance	de 0 à 500 MΩ
Conductance	de 0 à 500 nS
Capacité	de 0,001 nF à 50 mF
Contrôle de diode	3,1 V
Température	de -200 °C à 1350 °C (de -328 °F à 2462 °F)
Fréquence	de 0,5 Hz à 1000 kHz
Intervalles de consignation LOGGING (Modèle 189 seulement)	La mémoire est suffisante pour consigner au moins 288 intervalles. 707 valeurs d'événements instables (voir AutoHOLD) sont automatiquement ajoutées à la mémoire de consignation LOGGING pour être visualisées sur PC par le biais d'un logiciel optionnel. Des intervalles supplémentaires seront ajoutés (jusqu'à 995 intervalles) si le signal est stable.
Valeurs enregistrées SAVE (Modèle 189 seulement)	L'utilisateur peut enregistrer jusqu'à 100 relevés dans une mémoire distincte de la mémoire LOGGING. Ces relevés sont visualisés à l'aide de VIEW MEM.

VII.7 Multimètre portable Velleman DVM 68

4.3 AC Voltage

Range	Resolution	Accuracy
3.26V	1mV	± 0.8% of rdg ± 3 digits
32.6V	10mV	
326V	0.1V	
750V	1V	

Input impedance : 10MΩ

Frequency range : 40 to 1000Hz, 40 to 200Hz at 3.26V range

4.4 DC Current

Range	Resolution	Accuracy	Burden Voltage
326μA	0.1μA	± 1.2% of rdg ± 3 digits	0.5mV / μA
3260μA	1μA		0.5mV / μA
32.6mA	10μA		8.0mV / mA
326mA	0.1mA		8.0mV / mA
10A	10mA	± 2.0% of rdg ± 5 digits	0.02V / A

Overload protection : F 300mA fuse for μA and mA ranges,

F 10A fuse for A range

4.5 AC Current

Range	Resolution	Accuracy	Burden Voltage
326μA	0.1μA	± 1.5% of rdg ± 5 digits	0.5mV / μA
3260μA	1μA		0.5mV / μA
32.6mA	10μA		8.0mV / mA
326mA	0.1mA		8.0mV / mA
10A	10mA	± 3.0% of rdg ± 7 digits	0.02V / A

Overload protection : F 300mA fuse for μA and mA ranges,

F 10A fuse for A range

Frequency range : 40Hz to 1000Hz

4.6 Resistance

Range	Resolution	Accuracy
326Ω	0.1Ω	± 0.8% of rdg ± 3 digits
3.26kΩ	1Ω	
32.6kΩ	10Ω	± 0.8% of rdg ± 3 digits
326kΩ	100Ω	
3.26MΩ	1kΩ	
32.6MΩ	10kΩ	± 1.2% of rdg ± 2 digits

Maximum Open Circuit Voltage : 1.3V

3.7 Transistor Test

- 1) Set the function switch at hFE position.
- 2) Identify whether the transistor is NPN or PNP type and locate emitter, base and collector lead. Insert leads of the transistor to be tested into proper holes of the testing socket on the front panel.
- 3) LCD display will show the approximate hFE value at the test condition of base current 10 μA and Vce 3.2V.

4. Specifications

Accuracy is specified for a period of one year after calibration and at 18°C to 28°C with relative humidity to 80%.

4.1 General

Max. voltage between terminal and earth
Display 3 ½ digit LCD, 3260 counts max,

2-3 readings / sec

1000V DC or 750V AC rms (sinus)

μA & mA range : F 300mA/250V

A range : F 10A/250V

9V battery

Auto / Manual

"-" displayed

"OL" displayed automatically

"E3" displayed

0°C to 40°C

-10°C to 50°C

91 x 189 x 31.5 mm

310 g (incl. battery)

4.2 DC Voltage

Range	Resolution	Accuracy
326mV	0.1mV	± 0.5% of rdg ± 2 digits
3.26V	1mV	
32.6V	10mV	± 0.3% of rdg ± 2 digits
326V	0.1V	
1000V	1V	

Input impedance : 10MΩ, more than 100MΩ at 326mV range