

PRINCIPES GÉNÉRAUX DES FRÉQUENCEMÈTRES, TACHYMÈTRES, CHRONOMÈTRES ET PÉRIODEMÈTRES ÉLECTRONIQUES À COMPTEUR D'IMPULSIONS

GENERAL PRINCIPLES OF ELECTRONIC FREQUENCYMETERS, TACHOMETERS, CHRONOMETERS AND PERIODMETERS WITH PULSE COUNTER

L'existence des compteurs électroniques d'impulsions, dont l'une des caractéristiques essentielles est la brièveté du temps de réponse, permet de concevoir aisément la réalisation de fréquencemètres, tachymètres, chronomètres et périodemètres de haute précision dont nous exposons, ci-après, les principes généraux.

I - FRÉQUENCEMÈTRES

Le principe d'un fréquencemètre électronique à compteur d'impulsions, découle de la définition même de la fréquence, à savoir : le nombre d'alternances d'un phénomène périodique pendant l'unité de temps.

Nous admettons, pour la clarté de l'exposé, que ce phénomène se traduit sous la forme d'une tension électrique.

Dès lors, sa fréquence s'exprimera en "cycles/seconde" ou "périodes/seconde" ou encore "Hertz" (Hz).

De même, nous admettons que les compteurs électroniques utilisés sont du type "Décimal" ou à base 10 (Décades).

Nous dirons donc qu'un compteur électronique comporte n décades (5, 6 ou 8), sa capacité de comptage étant 10^{n-1} .

Dès lors, pour qu'un fréquencemètre électronique permette d'effectuer la mesure du nombre d'alternances d'une tension électrique pendant l'unité de temps de 1 seconde, cet appareil doit nécessairement comporter :

- Un compteur à décades.
- Un générateur chronométrique, terminé par un relais sans inertie, laissant accéder les impulsions au compteur pendant un temps exactement défini, égal à 1 seconde.
Cet organe porte la dénomination de "base de temps".
- Un amplificateur-normalisateur d'impulsions destiné à rendre, dans de larges limites, le fonctionnement rigoureusement indépendant de l'amplitude du signal reçu.

Généralisation

Les intervalles de temps définis par le générateur chronométrique ne seront pas, obligatoirement, égaux à 1 seconde et peuvent, suivant certains types d'applications, avoir des valeurs très différentes, inférieures ou supérieures.

Dans le cas général d'une base de temps définissant des intervalles de temps égaux à T , la fréquence F et le nombre lu N seront liés par l'expression :

$$F = \frac{N}{T}$$

Précision de mesure

On peut déduire de l'expression précédente celle de l'erreur commise dans une telle mesure.

$$\text{On a : } \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T}{T}$$

L'erreur ΔN commise sur la lecture du nombre N est, par principe, égale à ± 1 .

Le nombre lu peut, en effet, s'écarter de ± 1 unité du nombre vrai, suivant la phase du phénomène mesuré avec l'instant du déclenchement de la base de temps.

The existence of electronic pulse counters, one of the main features of which is a short response time, has made possible the development of high accuracy frequency meters, tachometers, chronometers and periodmeters based on the general principles expressed below.

I - FREQUENCYMETERS

The principle of an electronic pulse counter frequency meter is derived from the definition of the term « frequency », namely: the number of alternations of a periodical phenomenon during a time unit.

We shall admit, for the clearness of our description, that this phenomenon appears as an electrical voltage.

Therefore, its frequency will be expressed in "cycles/second" or "periods/second", or "Hertz" (Hz).

Furthermore, we shall admit that the electronic counters used are of "Decimal" type (decades).

We shall say that an electronic counter includes n decades (5, 6 or 8), its count capacity being 10^{n-1} .

Therefore, in order that an electronic frequency meter could measure the number of alternations of an electrical voltage during a time unit of 1 second, it should include necessarily:

- A decade counter.
- A chronometric generator, terminated by a relay without inertia, which lets pulses reach the counter during a time defined exactly, equal to 1 second.
This element is called "time base".
- An amplifier-pulse shaper which makes, to a large extent, operation independent of the amplitude of the signal received.

Generalization

The time intervals defined by the chronometric generator will not be necessarily equal to 1 second. They may, according to the type of application, have quite different values, lower or higher.

In the general case of a time base defining time intervals equal to T , the frequency F and the number N will read as follows:

$$F = \frac{N}{T}$$

Accuracy

From the above expression can be deduced the expression giving the error committed in such a measurement.

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T}{T}$$

The error ΔN , committed on reading N is, in principle, equal to ± 1 .

As a matter of fact, the number read can be different by ± 1 unit from the real number, according to the phase of the measured phenomenon with the moment of start of the time base.

Par ailleurs, $\frac{\Delta T}{T}$ représente l'erreur relative existant sur la détermination du temps T.

Soit $\pm \varepsilon = \frac{\Delta T}{T}$ cette erreur relative.

$$\text{On a alors : } \frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \varepsilon$$

Dans le cas particulier d'une base de temps de 1 seconde, on peut écrire $F = N$ (en nombre) et l'expression de l'erreur devient :

$$\Delta F = \pm 1 \pm F\varepsilon$$

Conclusion

Dans l'expression générale $\frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \varepsilon$, remplaçons N par F.T.,

$$\text{on obtient : } \frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{F.T.} \pm \varepsilon$$

Ce qui nous montre que la précision de mesure est d'autant meilleure :

- 1° que la valeur de ε est faible (Base de temps de grande précision),
- 2° que la fréquence mesurée **F est élevée**,
- 3° que la durée de comptage **T est élevée**.

Mode de réalisation des générateurs chronométriques ou « bases de temps »

On peut concevoir la réalisation d'une base de temps de différentes façons.

La méthode la plus couramment employée consiste à utiliser un maître oscillateur de haute précision (oscillateur électronique utilisant un quartz étalon) suivi d'une chaîne de diviseurs de fréquence, permettant d'obtenir finalement des impulsions électriques brèves d'intervalle de temps T.

Exemple

Soit à obtenir une base de temps de 1 seconde. On peut, par exemple, utiliser un quartz oscillateur thermostaté de fréquence égale à 100 kHz, suivi d'une chaîne de 5 diviseurs décimaux ($10^5 = 100\,000$).

Une telle base de temps donne facilement une précision meilleure que

$$\pm 10^{-5} \left(\pm \frac{1}{100\,000} \right).$$

Bases de temps multiples

Il est aisé de disposer, sur un même générateur chronométrique, de signaux de base de temps de valeur inférieure à 1 seconde.

Ainsi sur la base de temps à diviseurs décimaux, on obtiendra les intervalles de temps de 1/10 s., 1/100 s., etc.

De même, pour obtenir des intervalles de base de temps supérieurs à 1 seconde, il suffira de compléter la chaîne des diviseurs par de nouveaux diviseurs décimaux, permettant d'obtenir des valeurs suivantes :

$$1 \text{ s.}, 10 \text{ s.}, 100 \text{ s.}, \text{ etc.}$$

L'utilisation d'une base de temps prédéterminée permet d'obtenir des temps de mesure quelconques réglables, unité par unité avec plusieurs chiffres significatifs.

Si l'on désire obtenir des précisions supérieures à celles que nous venons de donner, il suffira d'utiliser des signaux étalons convenables.

(Par exemple : 100 kHz, de précision $\pm 10^{-6}$ ou $\pm 10^{-7}$).

Indépendamment de ces types de base de temps couramment employés, on peut concevoir l'utilisation d'autres maîtres oscillateurs tels, par exemple, que les diapasons à oscillation entretenue.

II - TACHYMÈTRES

L'emploi d'un fréquencesmètre électronique en tachymètre ou, si l'on préfère, en compteur instantané de nombre de tours, ne présente aucune difficulté.

Il suffit, tout simplement, de créer un signal électrique périodique de fréquence liée à la vitesse de rotation de l'organe contrôlé (moteur électrique, moteur d'avion, turbine, etc.).

Pour ce faire, on utilise des convertisseurs spéciaux, dénommés couramment « capteurs d'impulsions » ou « transmetteurs d'impulsions », ou encore « génératrices tachymétriques », organes que l'on monte directement sur une extrémité de l'organe en rotation (arbre ou prise de mouvement).

Soit n le nombre d'impulsions délivré par le capteur pour 1 tour de l'organe tournant et K le rapport de réduction de la prise de mouvement, on aura :

$$F = K.n.v.$$

Si v est la vitesse en tours par seconde (t/sec.)

Si la vitesse est exprimée, comme il est d'usage, en tours par minute (t/mn), on a :

$$V = 60.v$$

$$F = \frac{K.n.V.}{60}$$

Portons cette valeur dans l'expression : $F = \frac{N}{T}$

$$F = \frac{N}{T} = \frac{K.n.V.}{60}$$

$$\text{ou } V = \frac{60 N}{K.n.T.}$$

Besides, $\frac{\Delta T}{T}$ represents the relative error existing on the determination of the time T.

If $\pm \varepsilon = \frac{\Delta T}{T}$ is this relative error

$$\frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \varepsilon$$

In the case of a time base of 1 second, $F = N$ and the error becomes

$$\Delta F = \pm 1 \pm F\varepsilon$$

Conclusion

In the general expression $\frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{N} \pm \varepsilon$, if we replace N by F.T.,

$$\text{we obtain } \frac{\Delta F}{F} = \pm \frac{1}{F.T.} \pm \varepsilon$$

Therefore, the accuracy is as high as

- 1° ε is low (high accuracy time base).
- 2° The frequency **F is high**.
- 3° The time of counting **T is high**.

Design of the chronometric generators or "time bases"

The time base can be designed in different ways.

The most commonly used method consists in using a high accuracy standard oscillator (electronic oscillator using a standard crystal) followed by a chain of frequency dividers, providing short, electrical pulses of a time interval T.

Example

If we want to obtain a time base of 1 second, we can, for instance, use a 100 kc/s temperature-controlled crystal oscillator, followed by a chain of 5 decimal dividers ($10^5 = 100,000$).

Such a time base will provide easily an accuracy higher than

$$\pm 10^{-5} \left(\frac{1}{100\,000} \right).$$

Multiple time bases

It is easy to dispose, with the same chronometric generator, of time base signals lower than 1 second.

Thus, with the decimal divider time base will be obtained time intervals of 0.1 s, 0.01 s, etc.

In the same way, to obtain time base intervals higher than 1 second, it will be sufficient to use additional decimal dividers providing the following times:

$$1 \text{ s.}, 10 \text{ s.}, 100 \text{ s.}, \text{ etc.}$$

The use of a preset time base permits to obtain any measuring times adjustable unit by unit, with several significant figures.

If accuracies higher than those mentioned are required, it will be necessary to use suitable standard signals.

(For instance: 100 kc/s, with an accuracy of $\pm 10^{-6}$ or $\pm 10^{-7}$).

Beside these types of time bases, which are currently used, it is possible to use other oscillators such as, for instance, permanent oscillation tuning-forks.

II - TACHOMETERS

The use of an electronic frequenciesmeter as a tachometer, that is, as a counter counting an instant number of revolutions, presents no difficulty.

It is just necessary to generate a periodical electric signal the frequency of which depends on the rotating speed of the tested element (electric motor, aircraft engine, turbine, etc.).

For this purpose are used special converters, called „pulse transducers" or „pulse transmitters" or „tachometer generators", which are mounted directly on one end of the rotating element (shaft or motion intake).

If n is the number of pulses delivered by the transducer for 1 revolution of the rotating element, and K the reduction ratio of the motion intake,

$$F = K.n.v.$$

v being the speed in revolutions per second (r p s)

If the speed is expressed, as usual, in revolutions per minute (r p m),

$$V = 60.v$$

$$F = \frac{K.n.V.}{60}$$

Let us apply this value to the expression: $F = \frac{N}{T}$

$$F = \frac{N}{T} = \frac{K.n.V.}{60}$$

$$\text{or } V = \frac{60 N}{K.n.T.}$$

Cette nouvelle forme nous montre que, pour obtenir un nombre N affiché donnant directement la valeur de la vitesse de rotation en tours/minute, on doit avoir :

$$K.n.T = 60$$

Entre autre, pour un capteur monté directement sur l'organe tournant ($K = 1$) et une base de temps de 1 seconde, on prendra $n = 60$. Inversement, pour $n = 1$, on choisira un temps de comptage de 1 minute.

Capteurs d'impulsions

Ces organes sont généralement de 2 types :

a) Capteurs magnétiques, ou "à réluctance variable".

Dans lesquels une roue dentée, liée au mouvement de rotation, fait partie d'un circuit magnétique comportant un aimant permanent et une bobine concentrique.

On dispose finalement, aux bornes de cette bobine, d'une tension électrique de fréquence liée à la vitesse où n est le nombre de dents de la roue dentée.

b) Capteurs photo-électriques.

Dans lesquels on utilise les variations de la lumière, reçue sur une cellule photo-électrique à partir d'une source lumineuse à faisceau concentré.

On peut employer :

- soit la lumière réfléchiée par un organe tournant présentant des discontinuités de surfaces naturelles ou provoquées (capteurs à réflexion);
- soit la coupure directe du faisceau par un organe auxiliaire lié au mouvement (roue dentée, disque perforé, etc.) - (capteurs à obturation).

III - CHRONOMÈTRES

Le principe des chronomètres électroniques à compteur d'impulsions s'apparente intimement à celui des fréquencemètres.

Mais, alors que, dans un fréquencemètre de ce type, on effectue un comptage d'impulsions à temps constant, dans un **chronomètre** on effectue un **comptage d'impulsions de fréquence constante** pendant l'intervalle de temps à mesurer.

On intervient simplement les rôles respectifs du signal et de la base de temps.

Un chronomètre électronique à compteur d'impulsions comprendra donc :

- a) un compteur à décades;
- b) un générateur chronométrique délivrant une tension périodique étalon de fréquence f;
- c) des circuits auxiliaires recevant les signaux extérieurs (impulsions ou signaux de tension rectangulaires) dont on désire mesurer l'intervalle de temps ou la durée, reliés à un **amplificateur commandé** livrant ou non passage au signal fourni par le générateur chronométrique.

Expression générale

Si f est la fréquence de l'oscillateur étalon, N le nombre lu et t le temps mesuré, on a, comme précédemment :

$$f = \frac{N}{t}$$

$$t = \frac{N}{f}$$

Précision de mesure

$$\frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{\Delta N}{N} \pm \frac{\Delta f}{f}$$

$$= \pm \frac{1}{N} \pm \delta$$

$$= \pm \frac{1}{f.t} \pm \delta$$

On voit également que la précision de mesure est d'autant meilleure :

- 1° que la valeur δ est faible (signal étalon de grande précision);
- 2° que la fréquence étalon f est élevée;
- 3° que le temps mesuré t est élevé.

Nature des mesures chronométriques

Les mesures chronométriques généralement rencontrées dans la pratique courante, sont de trois types :

- 1° mesure de l'intervalle de temps séparant deux impulsions provenant de 2 voies différentes (ballistique - mesure d'un déphasage);
- 2° mesure de l'intervalle de temps séparant deux impulsions provenant d'une même voie (ballistique - mesure d'une période);
- 3° mesure de la durée d'un signal continu appliqué et interrompu (mesure du temps de réponse de relais électromagnétiques).

This new expression shows that, in order to display a number N giving directly the rotating speed in revolutions per minute, it is necessary giving directly the rotating speed in revolutions per minute, it is necessary to have:

$$K.n.T = 60$$

Therefore, for a transducer mounted directly on the rotating element ($K = 1$) and a time base of 1 second, we shall take $n = 60$. Inversely, for $n = 1$, we shall take a counting time of 1 minute.

Pulse transducers

These transducers are of two different types:

a) Magnetic transducers, or "variable reluctance" transducers

In these devices, a cog-wheel associated with the rotation, forms a part of a magnetic circuit including a permanent magnet and a concentric coil.

Finally, we dispose, across the terminals of this coil, of an electric voltage the frequency of which depends on the speed, n being the number of cogs of the cog-wheel.

b) Photo-electric transducers.

In these devices are used the variations of the light received by a photo-cell from a concentrated beam light source.

It is possible to use:

- either the light reflected by a rotating element presenting natural or artificial surface discontinuities (reflection transducers);
- or a direct cut of the beam by an auxiliary element associated with the motion (cog-wheel, punched disc, etc.) (obturation transducers).

III - CHRONOMETERS

The principle of electronic chronometers with pulse counter is very similar to the principle of frequencymeters.

However, with a frequencymeter of this type, pulses were counted over a constant time, whereas with a **chronometer** are **counted constant frequency pulses** during the time interval to be measured.

The respective functions of the signal and the time base are inverted.

Therefore, an electronic pulse counter chronometer will consist of:

- a) A decade counter.
- b) A chronometric generator delivering a periodical standard voltage of frequency f.
- c) Auxiliary circuits, receiving the external signals (pulses or rectangular signals) the time interval or the duration of which is to be measured, connected to a **controlled amplifier** giving or not access to the signal delivered by the chronometric generator.

General expression

If f is the frequency of the standard oscillator, N the number displayed and t the time measured, we have, as before:

$$f = \frac{N}{t}$$

$$t = \frac{N}{f}$$

Accuracy

$$\frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{\Delta N}{N} \pm \frac{\Delta f}{f}$$

$$= \pm \frac{1}{N} \pm \delta$$

$$= \pm \frac{1}{f.t} \pm \delta$$

Therefore, the accuracy is as high as

- 1° δ is low (high accuracy standard signal).
- 2° f is high.
- 3° t is high.

Nature of chronometric measurements

The chronometric measurements met generally are of three types:

- 1° Measurement of the time interval between two pulses coming from 2 different channels (ballistics, phase difference measurements).
- 2° Measurement of the time interval between two pulses coming from the same channel (ballistics, period measurements).
- 3° Measurement of the duration of a direct signal applied and interrupted (measurement of the response time of electro-magnetic relays).

IV - PÉRIODEMÈTRES

L'utilisation d'un chronomètre électronique en périodemètre, découle du deuxième mode d'utilisation précédemment cité.

Il est toutefois à noter que, dans ce cas précis, il est possible d'augmenter la précision de mesure en ne se limitant pas à la mesure d'une période unique, mais en totalisant plusieurs périodes successives.

Si k est le nombre de périodes totalisées, on a alors :

$$t = \frac{1}{k} \cdot \frac{N}{f} \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{1}{k \cdot t \cdot f} \pm \delta \pm \varepsilon'$$

ε' = erreur relative du trigger d'entrée.

L'erreur due au compteur est elle-même réduite dans le rapport k .

Exemple

Soit un chronomètre électronique possédant un oscillateur étalon de 100 kHz permettant d'effectuer la mesure des intervalles de temps au 1/100 000 de seconde.

Si ce chronomètre possède par ailleurs un diviseur décimal aperiodique interposé entre les signaux d'entrée et le compteur, il est clair que l'on pourra ainsi mesurer la durée de 10 périodes successives d'un signal incident.

La précision obtenue est alors de $\frac{1}{100\,000}$ de seconde pour

10 périodes, ou de $\frac{1}{1\,000\,000}$ de seconde pour 1 période.

La période est ainsi mesurée artificiellement, en micro-secondes, et la précision finale démultipliée.

Dualité des mesures de fréquences et de temps (ou de périodes)

L'expression de l'erreur des mesures fréquentométriques nous a montré que la précision relative était d'autant meilleure que la fréquence mesurée était élevée.

Inversement, l'expression de l'erreur des mesures chronométriques nous a montré que la précision relative était d'autant meilleure que la durée mesurée était élevée.

Si donc l'on dispose d'un équipement mixte, fréquencemètre-chronomètre, permettant d'effectuer les 2 modes de mesures, il est clair qu'en dessous d'une certaine fréquence on aura intérêt à fonctionner en **périodemètre**.

Cette **fréquence seuil** au-dessus de laquelle il y a intérêt à fonctionner en fréquencemètre et au-dessous de laquelle il y a intérêt à fonctionner en périodemètre, est déterminée exactement par les caractéristiques technologiques de l'appareil et sa valeur fixée par le point d'intersection des 2 courbes d'erreur (toutes deux exprimées en fonction de F , par exemple).

Ce point d'intersection donne la valeur maximum de l'erreur fournie par l'appareil dans le cas le plus défavorable.

Voyons comment est déterminée cette valeur critique F_c dans le cas type d'un équipement mixte fréquencemètre-chronomètre-périodemètre ayant les caractéristiques suivantes

a) Oscillateur 100 kHz suivi de 5 diviseurs décimaux donnant des intervalles de base de temps de 1 seconde.

Précision de l'oscillateur : $\pm 10^{-5}$

Le même oscillateur sert d'étalon de temps pour les mesures chronométriques ($\varepsilon = \delta$).

b) Un diviseur décimal aperiodique supplémentaire permet, en **fréquencemètre**, d'effectuer des mesures sur une durée de 10 secondes, en **périodemètre**, d'effectuer la totalisation de 10 périodes successives.

L'expression de l'erreur relative en fréquencemètre donne :

$$e_f = \pm \frac{1}{10 \cdot F \cdot T} \pm \varepsilon$$

en périodemètre

$$e_p = \pm \frac{1}{10 \cdot t \cdot f} \pm \varepsilon \pm \varepsilon' \quad (\text{ici } \varepsilon = \delta)$$

ε' = erreur relative du trigger d'entrée

$$\text{mais } t = \frac{1}{F}$$

$$\text{d'où : } e_p = \pm \frac{F}{10 f} \pm \varepsilon \pm \varepsilon'$$

la valeur critique est donnée par $|e_f| = |e_p|$

ou encore :

$$\frac{1}{10 \cdot F_c \cdot T} = \frac{F_c}{10 f} \quad (\varepsilon' \text{ étant négligeable dans la plupart des applications})$$

$$F_c^2 = \frac{f}{T} \quad \text{ou} \quad F_c = \sqrt{\frac{f}{T}}$$

puisque $f = 100\,000$ et $T = 1$

$$F_c \leq 320 \text{ Hz}$$

Pour cette valeur de F l'erreur de mesure est donnée par la valeur :

$$e = \pm \frac{1}{3\,200} \pm \frac{1}{100\,000} \approx \frac{1}{3\,100}$$

IV - PERIODMETERS

The use of an electronic chronometer as a period meter is derived from the second type mentioned above.

However, it should be noted that, in this case, it is possible to increase the accuracy by totalizing a number of successive periods, instead of measuring only one period.

If k is the number of totalized periods, we have:

$$t = \frac{1}{k} \cdot \frac{N}{f} \quad \text{or} \quad \frac{\Delta t}{t} = \pm \frac{1}{k \cdot t \cdot f} \pm \delta \pm \varepsilon'$$

ε' = relative error on the input trigger.

The error due to the counter is thus divided by k .

Example

Let us take an electronic chronometer having a standard oscillator of 100 kc/s permitting to perform time interval measurements with an accuracy of 10^{-5} second.

If this chronometer has an untuned decimal divider between the input signals and the counter, it will be possible to measure the duration of 10 successive periods of an incident signal.

The accuracy obtained is then 10^{-5} second for 10 periods, or 10^{-6} second for 1 period.

Thus, the period is measured artificially in microseconds, and the final accuracy is multiplied by 10.

Duality of frequency and time (or period) measurements

The expression of the error in frequency measurements showed that the relative accuracy was as high as the measured frequency was high.

Inversely, the expression of the error in chronometric measurements showed that the relative accuracy was as high as the measured duration was high.

Therefore, if we dispose of a mixed instrument, that is a frequency-meter-chronometer, providing both types of measurements, below a given frequency, it will be preferable to use it as a **periodometer**.

This **limit frequency** above which it is preferable to use the instrument as a frequencymeter, and below which it is preferable to use it as a periodometer, is determined exactly by the technological characteristics of the instrument, and its value is fixed by the point of intersection of both error curves (both expressed in relation to F , for instance).

This point of intersection gives the maximum value of the error provided by the instrument in the most unfavourable case.

Let us see how is determined this critical value F_c , in the case of a mixed instrument, a frequency-time interval-period meter having the following characteristics:

a) 100 kc/s oscillator followed by 5 decimal dividers giving time base intervals of 1 second.

Accuracy of the oscillator: $\pm 10^{-5}$

This oscillator is used as a time standard for time interval measurements ($\varepsilon = \delta$).

b) An additional untuned decimal divider permits, in **frequency measurements**, to perform measurements over a duration of 10 seconds, and in **period measurements**, to perform the totalizations of 10 successive periods.

The expression of the relative error in frequency measurements gives:

$$e_f = \pm \frac{1}{10 \cdot F \cdot T} \pm \varepsilon$$

in period measurements

$$e_p = \pm \frac{1}{10 \cdot t \cdot f} \pm \varepsilon \pm \varepsilon' \quad (\varepsilon = \delta)$$

ε' = relative error of the input trigger.

$$\text{but } t = \frac{1}{F}$$

$$\text{therefore: } e_p = \pm \frac{F}{10 f} \pm \varepsilon \pm \varepsilon'$$

the critical value is given by $|e_f| = |e_p|$

or else

$$\frac{1}{10 \cdot F_c \cdot T} = \frac{F_c}{10 f} \quad (\varepsilon' \text{ being negligible in most applications})$$

$$F_c^2 = \frac{f}{T} \quad \text{or} \quad F_c = \sqrt{\frac{f}{T}}$$

since $f = 100,000$ and $T = 1$

$$F_c \leq 320 \text{ Hz}$$

For this value of F , the error is equal to:

$$e = \pm \frac{1}{3\,200} \pm \frac{1}{100,000} \approx \frac{1}{3\,100}$$

ROCHAR ELECTRONIQUE se réserve le droit de modifier sans préavis les caractéristiques, performances, dimensions et présentation du matériel cité dans la présente notice, que des brevets ROCHAR ELECTRONIQUE, déposés en France et à l'étranger sont susceptibles de protéger en tout ou partie.

Imprimé en France