

CHƯƠNG 12.

ĐO TẦN SỐ (2 LT)

12.1. Khái niệm chung.

- **Tần số (f: frequency):** được xác định bởi số các *chu kỳ lặp lại* của sự thay đổi tín hiệu trong một đơn vị thời gian. Tần số là một trong các thông số quan trọng nhất của quá trình dao động có chu kỳ.

- **Chu kỳ (Time period, Time cycle):** là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó (tức là thỏa mãn phương trình $u(t) = u(t + T)$).

Quan hệ giữa tần số và chu kỳ của tín hiệu dao động là:

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]}$$

- **Tần số góc tức thời (ω):** được xác định như là vi phân theo thời gian của góc pha của tín hiệu, tức là:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} [grad]$$

Quan hệ giữa tần số góc tức thời và tần số là:

$$\omega(t) = 2\pi \cdot f(t) \Leftrightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t)$$

với $f(t)$ là tần số tức thời.

Đối với tín hiệu dao động điều hòa (tín hiệu hình sin) vì có góc pha biến đổi theo thời gian theo quy luật tuyến tính nên tần số góc tức thời là một hằng số:

$$\omega(t) = d\varphi / dt = \omega_0 = const$$

\Rightarrow tần số f là một đại lượng không đổi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t) = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

Khoảng tần số được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như: vô tuyến điện tử, tự động hoá, vật lý thí nghiệm, thông tin liên lạc...với dải tần từ một phần Hz đến hàng nghìn GHz.

- **Tần số kế:** là dụng cụ để đo tần số. Ngoài ra còn có thể đo tỉ số giữa hai tần số, tổng của hai tần số, khoảng thời gian, độ dài các xung...

- **Các phương pháp đo tần số:** việc lựa chọn phương pháp đo tần số được xác định theo khoảng đo, theo độ chính xác yêu cầu, theo dạng đường cong và công suất nguồn tín hiệu có tần số cần đo và một số yếu tố khác.

Để đo tần số của tín hiệu điện có hai phương pháp: phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh:

a) **Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng:** được tiến hành bằng các loại tần số kế cộng hưởng, tần số kế cơ điện, tần số kế tụ điện, tần số kế chỉ thị số:

- *Các tần số kế cơ điện tương tự* (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động): được sử dụng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz ÷ 2,5kHz trong các mạch nguồn với cấp chính xác không cao (cấp chính xác 0,2; 0,5; 1,5; 2,5).

Các loại tần số kế này nói chung hạn chế sử dụng vì tiêu thụ công suất khá lớn và bị rung.

- *Các tần số kế điện dung tương tự*: để đo tần số trong dải tần từ 10Hz ÷ 500kHz, được sử dụng khi hiệu chỉnh, lắp ráp các thiết bị ghi âm và radiô v.v...
- *Tần số kế chỉ thị số*: được sử dụng để đo chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz ÷ 50GHz. Còn sử dụng để đo tỉ số các tần số, chu kỳ, độ dài các xung, khoảng thời gian.

b) Đo tần số bằng phương pháp so sánh: được thực hiện nhờ ôxilôscôp, cầu xoay chiều phụ thuộc tần số, tần số kế đổi tần, tần số kế cộng hưởng...:

- *Sử dụng ôxilôscôp*: được thực hiện bằng cách đọc trực tiếp trên màn hình hoặc so sánh tần số cần đo với tần số của một máy phát chuẩn ổn định (dựa trên đường cong Litsazua). Phương pháp này dùng để đo tần số các tín hiệu xoay chiều hoặc tín hiệu xung trong dải tần từ 10Hz đến 20MHz.
- *Tần số kế trộn tần*: sử dụng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng từ 100kHz ÷ 20GHz trong kỹ thuật vô tuyến điện tử.
- *Cầu xoay chiều phụ thuộc tần số*: để đo tần số trong khoảng từ 20Hz - 20kHz.
- *Tần số kế cộng hưởng*: để đo tần số xoay chiều tần số tín hiệu điều chế biên độ, điều chế xung trong khoảng từ 50kHz ÷ 10GHz; thường sử dụng khi lắp thiết bị thu phát vô tuyến.

Trong những năm gần đây tần số kế chỉ thị số được sử dụng rộng rãi và còn cài đặt thêm μP để điều khiển và sử dụng kết quả đo nữa...

Dưới đây sẽ tiến hành xét một số phương pháp và dụng cụ đo tần số phổ biến nhất, bao gồm:

- Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng
- Tần số kế điện từ
- Cầu đo tần số
- Tần số kế chỉ thị số

12.2. Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng.

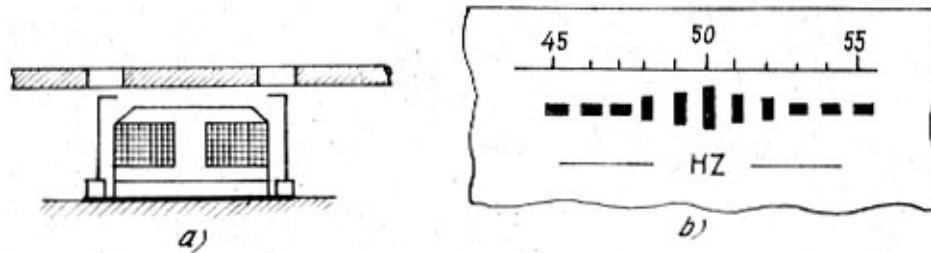
12.2.1. Tần số kế cộng hưởng điện từ:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng. Thường được sử dụng để đo tần số của lưới điện công nghiệp.

Cấu tạo của tần số kế cộng hưởng điện từ như hình 12.1, bao gồm 2 phần chính: một nam châm điện và các thanh thép. Các thanh thép được gắn chặt một đầu, còn đầu kia dao động tự do, mỗi thanh có tần số riêng bằng hai lần tần số của nguồn điện cần đo và tần số riêng của mỗi thanh khác nhau.

Nguyên lý hoạt động của tần số kế điện từ: dưới tác dụng của từ trường nam châm điện trong một chu kỳ của tín hiệu cần đo các thanh kim loại sẽ được hút vào nam châm hai lần và do đó dao động. Thanh nào có biên độ dao động lớn nhất thì thanh đó có tần số riêng bằng hai lần tần số cần đo. Trên mặt dụng cụ đo (H.12.1b) ta thấy biên độ dao động của thanh kim loại lớn nhất ứng với tần số đã

khắc độ trên mặt số.



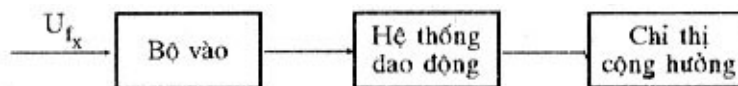
Hình 12.1. Tần số kế cộng hưởng điện từ:
a) Cấu tạo ; b) Mặt chỉ thị

Ưu điểm: cấu tạo đơn giản, bền.

Nhược điểm: giới hạn đo hẹp ($45 \div 55\text{Hz}$) hoặc ($450 \div 550\text{Hz}$); sai số của phép đo thường là $\pm (1,5 \div 2,5)\%$; không sử dụng được ở nơi có độ rung lớn và thiết bị di chuyển.

12.2.2. Tần số kế cộng hưởng điện:

Là dụng cụ đo theo phương pháp so sánh. Tần số kế sử dụng hiện tượng cộng hưởng điện là một hệ thống dao động được điều chỉnh cộng hưởng với tần số cần đo của nguồn tín hiệu. Sơ đồ khối nguyên lý như hình 12.2:



Hình 12.2. Sơ đồ khối nguyên lý của tần số kế cộng hưởng điện

Trạng thái dao động được phát hiện theo số chỉ cao nhất của bộ chỉ thị cộng hưởng tỉ lệ với dòng áp (hay áp) trong hệ thống dao động. Tần số cần đo được khắc độ ngay trên núm vặn của thiết bị dò tìm dao động hoặc sử dụng bảng số hay đồ thị. Bộ vào để hoà hợp giữa tần số kế và nguồn tín hiệu cần đo.

Ví dụ: tần số kế chứa hệ thống dao động sử dụng tụ xoay để tìm dao động có thể đo tần số đến 200MHz.

Phương pháp cộng hưởng đơn giản, tiện lợi; cấp chính xác có thể đạt tới 0,1%.

12.3. Tần số kế điện tử.

12.3.1. Tần số kế điện dung dùng đổi nối điện tử:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng.

Nguyên lý hoạt động: dựa trên việc thực hiện việc đo giá trị trung bình của dòng phóng I của tụ điện khi tụ điện này phóng nạp có chu kỳ cùng nhịp với tần số cần đo f_x . Sơ đồ nguyên lý như hình 12.3.

Khi khóa K ở vị trí (1) thì tụ điện C được nạp từ nguồn E qua R_1 đến điện áp U_1 (thường điện trở R_1 và tụ C được chọn sao cho hằng số thời gian nạp R_1C đảm bảo cho tụ C nạp đầy). Sau đó khi khóa K ở vị trí (2) thì tụ C sẽ phóng qua R_2 , qua cơ cấu chỉ thị từ điện đến điện áp U_2 .

Khi nạp điện, điện tích nạp của tụ C là: $q_n = C.U_1$

sau khi phóng, điện tích còn lại trên tụ C là: $q_{cl} = C.U_2$

suy ra lượng điện tích phóng qua cơ cấu chỉ thị trong một chu kỳ của khóa K là:

$$q = C.(U_1 - U_2)$$

Tức là trong một chu kỳ điện tích qua cơ cấu chỉ thị là q , như vậy nếu công tắc K đổi nối f_X lần trong một giây (tương ứng với f_X chu kỳ của khóa K) thì giá trị trung bình của dòng phóng I của tụ qua cơ cấu chỉ thị (được tính bằng lượng điện tích đi qua cơ cấu chỉ thị trong một giây) là:

$$I = q.f_X = C.(U_1 - U_2).f_X$$

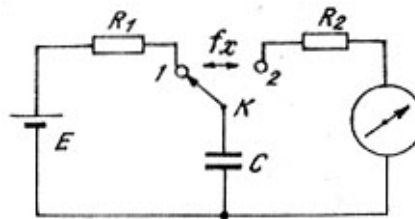
suy ra:

$$f_X = \frac{I}{C.(U_1 - U_2)}$$

tức là tần số cần đo f_X tỉ lệ thuận với dòng chạy qua dụng cụ đo I , như vậy đo I có thể suy ra f_X .

Nếu tụ C và U_1, U_2 là các đại lượng không đổi thì bảng khắc độ của cơ cấu chỉ thị từ điện có thể khắc trực tiếp theo đơn vị tần số.

Theo nguyên tắc này tần số kế điện dung được thực hiện nhờ bộ đổi nối điện tử (đổi nối K) với tần số đổi nối là f_X của điện áp điều khiển nó.



Hình 12.3. Sơ đồ nguyên lý của tần số kế điện dung dùng đổi nối điện tử

Đặc tính tuyến tính giữa I và f_X chỉ có thể đảm bảo được nếu điều kiện:

$$q = C.(U_1 - U_2) = const$$

vì vậy trong mạch của tần số kế bố trí hạn chế sao cho điện áp U_1 khi tụ nạp và U_2 khi tụ phóng đều nằm trong khoảng ứng với dải tần số cần đo.

Để mở rộng thang đo tần số thì phải đảm bảo hằng số thời gian nạp và phóng của tụ điện sẽ nhỏ hơn nửa chu kỳ của tần số cao nhất. Điều này đạt được bằng cách thay đổi điện dung của tụ điện (ví dụ: sử dụng một bộ tụ điện), còn điện trở của mạch nạp R_1 và phóng R_2 luôn không đổi.

Giới hạn trên của tần số cần đo: (ứng với giá trị nhỏ nhất của tụ C) được xác định bởi độ nhạy của cơ cấu chỉ thị và tần số đóng cắt giới hạn của bộ đổi nối K, với đổi nối sử dụng role cơ khí thường đạt được tần số tới hạn 1kHz, muốn đạt tần số cao hơn phải sử dụng các bộ đổi nối là role điện tử.

Giới hạn dưới của tần số đo: được xác định bởi tần số mà ở đó xuất hiện dao động cơ khí của kim của cơ cấu chỉ thị (khoảng 10Hz).

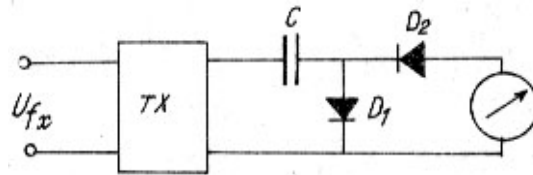
Sai số của dụng cụ đo loại này thường do: sai số của cơ cấu chỉ thị, do nguồn cấp E không ổn định, do tụ C không ổn định và được khắc độ không đúng...

Ví dụ: tần số kế điện dung loại v3-7 được sử dụng để đo tần số tín hiệu hình sin từ 10Hz ÷ 500kHz với sai số cơ bản là $\pm 2\%$, điện áp vào $0,5V \pm 500V$, điện trở vào hơn 500kΩ, điện dung ở đầu vào không quá 15pF.

12.3.2. Tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu:

Là dụng cụ đo theo phương pháp biến đổi thẳng.

Nguyên lý hoạt động: nhờ mạch tạo xung mà điện áp có tần số cần đo f_x được biến thành xung vuông, trong khoảng thời gian có xung tụ C được nạp qua diốt D_1 , trong khoảng thời gian không có xung tụ phóng qua D_2 và cơ cấu chỉ thị từ điện. Sơ đồ nguyên lý như hình 12.4:



Hình 12.4. Sơ đồ nguyên lý của tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu

Góc lệch α của cơ cấu chỉ thị sẽ tỉ lệ với dòng điện trung bình:

$$\alpha = S_I \cdot I = S_I \cdot q \cdot f_x = S_I \cdot (C \cdot U_m) \cdot f_x$$

Mặt khác dòng trung bình I lại tỉ lệ thuận với tần số cần đo f_x do vậy góc lệch α tỉ lệ thuận với tần số cần đo f_x với điều kiện độ nhạy của cơ cấu chỉ thị S_I , tụ C và biên độ xung U_m không đổi.

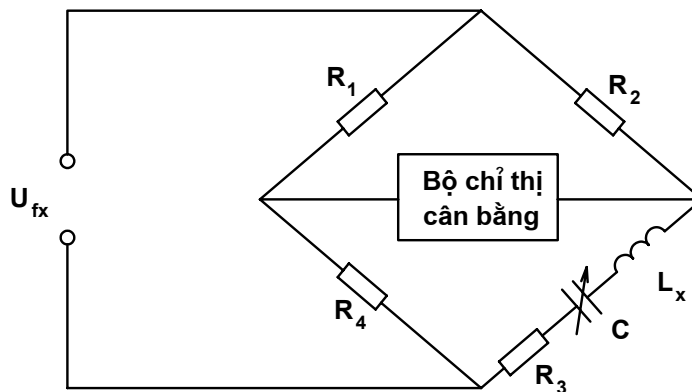
Ưu điểm: tần số kế điện dung dùng chỉnh lưu có ưu điểm là có khả năng đo trực tiếp ở dải tần số rộng.

Ví dụ : Tần số kế $\Phi 433/3$ cấp chính xác 1,5; khoảng đo từ 0,1Hz ÷ 1000kHz.

12.4. Cầu đo tần số.

Để đo tần số, có thể dùng các cầu đo mà điều kiện cân bằng của cầu phụ thuộc vào tần số của nguồn dòng điện cung cấp.

Ví dụ hình 12.5 là sơ đồ một mạch cầu đơn giản có một nhánh là mạch cộng hưởng:



Hình 12.5. Mạch cầu đơn giản đo tần số

Điều kiện cân bằng của cầu này là:

$$R_1 \cdot Z_3 = R_2 \cdot R_4$$

với:

$$Z_3 = R_3 + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

như vậy nếu điều chỉnh các thông số của nhánh sao cho nhánh Z_3 cộng hưởng ở tần số f_x cần đo thì ta có:

$$\omega_x L = \frac{1}{\omega_x C} \Rightarrow Z_3 = R_3$$

và điều kiện cân bằng của cầu trở thành:

$$R_1.R_3 = R_2.R_4$$

Như vậy phép đo tần số f_x ở đây chính là việc thực hiện điều chỉnh các thông số của nhánh RLC sao cho nhánh này cộng hưởng tại tần số cần đo f_x để đạt điều kiện cân bằng của cầu. Với mạch cụ thể trên thì nhánh 3 được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh giá trị của tụ điện C, từ giá trị của C khi cầu đạt cân bằng có thể suy ra giá trị của tần số cần đo f_x :

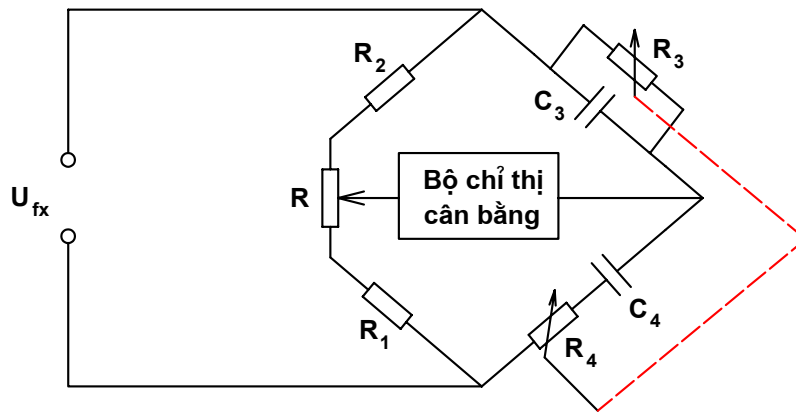
$$\text{Cầu cân bằng tại } f_x \Rightarrow Z_3 = R_3 \Rightarrow \omega_x L = \frac{1}{\omega_x C} \Rightarrow \omega_x = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_x = \frac{\omega_x}{2\pi}$$

như vậy thang độ điều chỉnh của tụ điện C có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị tần số và đóng vai trò là chỉ thị tần số đo được.

Để mở rộng giới hạn thang đo có thể thực hiện bằng cách thay đổi giá trị cuộn cảm L. Bộ chỉ thị cân bằng có thể là vônmet chỉnh lưu, vônmet điện tử.

Nhược điểm chủ yếu của mạch này là khó chế tạo cuộn cảm ở tần số thấp, khó thực hiện chỉ thị không do có tác động của điện từ trường lên cuộn điện cảm.

Loại mạch cầu phổ biến hơn để đo tần số là mạch có sơ đồ như hình 12.6:



Hình 12.6. Mạch cầu đo tần số

Điều kiện cân bằng của cầu này là (ở đây bỏ qua điện trở của biến trở R):

$$\frac{R_1.R_3}{1 + j\omega_x C_3.R_3} = R_2 \cdot \left(R_4 + \frac{1}{j\omega_x.C_4} \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} + \frac{C_3}{C_4} \\ \frac{1}{\omega_x C_4} = \omega_x C_3 R_3 R_4 \end{cases}$$

\Rightarrow giá trị tần số cần đo là:

$$\omega_x = \frac{1}{\sqrt{R_3 R_4 C_3 C_4}} \Rightarrow f_x = \frac{\omega_x}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R_3 R_4 C_3 C_4}}$$

Nếu chọn các điện trở và tụ điện sao cho:

$$R_3 = R_4 = R \quad \text{và} \quad C_3 = C_4 = C$$

thì kết quả tần số đo được sẽ là:

$$f_x = \frac{1}{2\pi.RC}$$

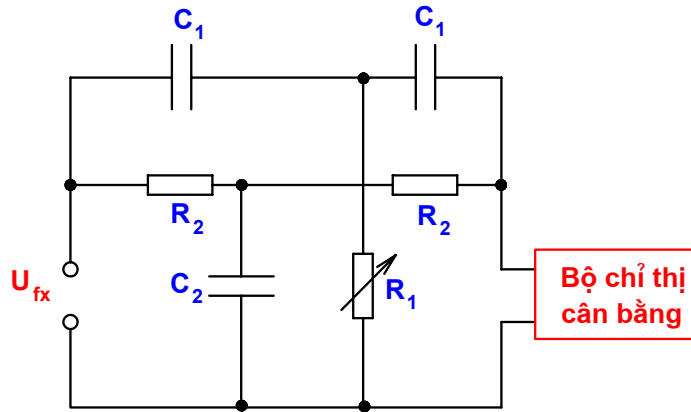
Ngoài ra còn có thể dùng loại cầu chữ “T kép” như hình 12.7. Điều kiện cân

bằng của cầu là:

$$\begin{cases} \omega_x^2 \cdot R_2^2 \cdot C_1 \cdot C_2 = 2 \\ 2 \cdot \omega_x^2 \cdot C_1^2 \cdot R_1 \cdot R_2 = 1 \end{cases}$$

Khi $R_2 = 2 \cdot R_1$; $C_2 = 2 \cdot C_1$ thì ta có:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \cdot R_1 C_1 \Rightarrow f_x = \frac{1}{4\pi} \cdot R_1 C_1$$



Hình 12.7. Cầu chữ “T kép” đo tần số

Như vậy thay vì điều chỉnh giá trị của tụ điện ta có thể điều chỉnh giá trị của điện trở R_1 để cầu đạt cân bằng, thang chia độ điều chỉnh của R_1 có thể trực tiếp khắc độ theo tần số.

Phương pháp cầu dùng để đo tần số từ vài chục Hz tới vài trăm kHz; sai số đo khoảng (0,5-1%).

12.5. Tần số kế chỉ thị số.

Nguyên lý của một tần số kế chỉ thị số là đếm số xung N tương ứng với số chu kỳ của tần số cần đo f_x trong khoảng thời gian gọi là *thời gian đo* T_{do} .

Trong khoảng T_{do} ta đếm được N xung tỉ lệ với tần số cần đo f_x . Ở hình 12.8a là sơ đồ khối của một tần số kế chỉ thị số.

- **Quá trình hoạt động của tần số kế chỉ thị số như sau:** nguồn tín hiệu có tần số cần đo được đưa đến đầu vào của “Bộ vào”. “Bộ vào” bao gồm một bộ khuếch đại dải rộng với tần số từ 10Hz ÷ 3,5MHz và một bộ suy giảm tín hiệu; mục đích là để hòa hợp tần số kế với nguồn tín hiệu có tần số cần đo, đồng thời để khuếch đại hay hạn chế điện áp vào đến giá trị đủ để kích thích tạo xung làm việc. Tiếp theo là bộ tạo xung - “Bộ TX” có chức năng biến tín hiệu hình sin hoặc tín hiệu xung có chu kỳ thành một dãy xung DX có biên độ không đổi (không phụ thuộc vào biên độ của tín hiệu vào) nhưng có tần số bằng tần số của tín hiệu vào (H.12.8b).

Đồng thời với quá trình trên, máy phát tần số chuẩn - “MF TC chuẩn f_0 ” phát tần số chuẩn được ổn định bằng thạch anh có tần số là $f_0 = 1\text{MHz}$. Tín hiệu có tần số f_0 này được đưa qua “Bộ chia tần số” theo các mức với hệ số là 10^n , tần số chuẩn $f_0 = 1\text{MHz}$ sẽ được chia đến 0,01Hz. Nghĩa là ở đầu ra của mạch điều khiển theo 10^n ($n = 1, 2, \dots, 8$) tương ứng có thể nhận được khoảng thời gian $T_{do} = 1/f_0 = 10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}; 1; 10; 100\text{s}$.

Trong thời gian T_{do} mạch điều khiển “ĐK” cho mở khoá K (khoá có hai đầu vào) để cho phép dãy xung DX (có tần số tỉ lệ với f_x) đi vào bộ đếm và sau đó ra cơ cấu chỉ thị, số xung đếm được trong thời gian T_{do} này là N.

Như vậy suy ra chu kỳ của dãy xung là:

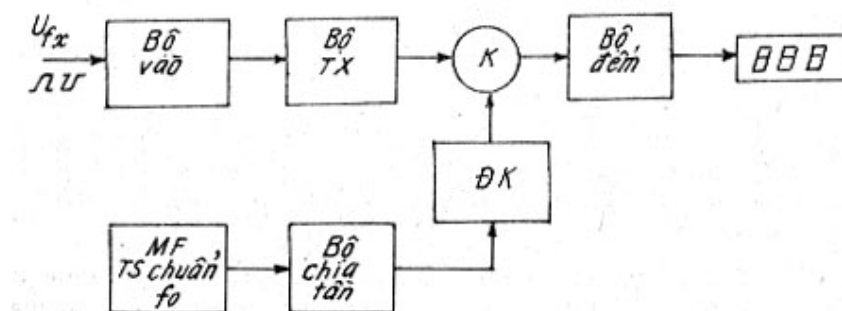
$$T_x = \frac{T_{do}}{N} = \frac{k.T_o}{N} = \frac{k}{N.f_0} \text{ với } k = 10^n$$

suy ra tần số của dãy xung là:

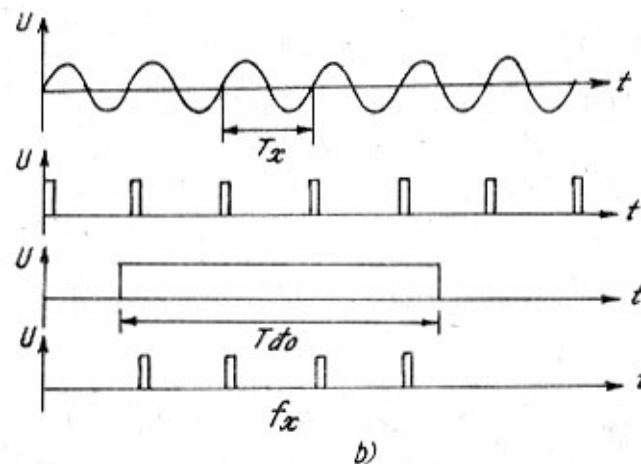
$$f_x = \frac{1}{T_x} = N \cdot \frac{f_0}{k}$$

Nếu $T_{do} = 1s$ ($k = 10^6$) thì số xung N (tức là số các chu kỳ) sẽ chính là các tần số cần đo f_x nghĩa là:

$$f_x = N$$



a)



b)

Hình 12.8. Tần số kế chỉ thị số:

a) Sơ đồ khối ; b) Giản đồ xung

Mạch điều khiển phụ trách việc điều khiển quá trình đo; bảo đảm thời gian biểu thị kết quả đo cỡ từ 0,3÷5s trên chỉ thị số; xoá kết quả đo đưa về trạng thái 0 ban đầu trước mỗi lần đo; điều khiển chế độ làm việc: tự động, bằng tay, hay khởi động bên ngoài (external trigger); chọn dải đo tần số (cho ra xung mở khoá K) và cho ra xung điều khiển máy in số...

Bộ hiện số thường có nhiều digit (hàng đơn vị, hàng chục, hàng trăm...) bảo đảm chỉ thị toàn bộ dải tần số cần đo.

- Sai số của phép đo và các yếu tố ảnh hưởng đến sai số: sai số cơ bản của

phép đo tần số là tần số sai số lượng tử theo thời gian, sai số này tăng khi tần số cần đo giảm.

Cụ thể sai số tương đối của phép đo tần số được tính như sau:

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$$

- Thành phần $\Delta N / N$: phụ thuộc vào tỉ số giữa thời gian đo T_{do} và chu kỳ của

tín hiệu cần đo $T_x = 1/f_x$. Sai số lượng tử theo thời gian là do quá trình không trùng nhau giữa thời điểm bắt đầu thời gian đo T_{do} và thời điểm bắt đầu chu kỳ T_x . Nếu T_{do} và T_x là bội số của nhau (tức là trùng nhau các điểm đầu của hai khoảng thời gian) thì sai số $\Delta N = 0$; còn nếu như T_{do} và T_x không phải là bội số của nhau thì sai số lớn nhất của quá trình lượng tử hoá là $\Delta N = \pm 1$ xung thuộc dãy bé nhất của bộ đếm.

- Thành phần thứ hai của sai số là $\Delta T_{do} / T_{do}$: được xác định bởi độ biến động

của tần số chuẩn f_0 từ máy phát thạch anh để cho ra cửa sổ T_{do} . Sai số này cỡ 10^{-7} và được tính là:

$$\frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \gamma \cdot f_0$$

Vậy sai số của phép đo tần số sẽ là:

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}} = \frac{1}{N} + \gamma \cdot f_0 = \frac{1}{f_x T_{do}} + \gamma \cdot f_0$$

Như vậy nếu $\gamma \cdot f_0 = \text{const}$ thì sai số của phép đo tần số tỉ lệ nghịch với độ lớn của tần số đo, tức là sai số này nhỏ khi ta đo tần số cao, và sai số này sẽ lớn khi ta đo tần số thấp.

Ví dụ: với $\gamma \cdot f_0 = 10^{-7}$ nếu đo tần số $f_x = 10\text{MHz}$, $T_{do} = 1\text{s}$, thì $\gamma_f = 2 \cdot 10^{-5} \%$ còn nếu $f_x = 10\text{Hz}$, T_{do} thì $\gamma_f = 10\%$.

Như vậy, khi đo tần số cao sai số của phép đo chủ yếu là do độ không ổn định của tần số máy phát chuẩn f_0 . Còn khi đo tần số thấp sai số chủ yếu là sai số lượng tử.

- **Giảm sai số khi đo tần số thấp:** muốn giảm sai số khi đo tần số thấp thì phải tăng thời gian đo T_{do} nhưng điều này không phải khi nào cũng thực hiện được. Vì vậy trong tần số kế chỉ thị số hoặc là người ta sử dụng bộ nhân tần số để nhân tần số cần đo lên 10^n lần hoặc là không cần đo tần số nữa mà chuyển phép đo tần số sang đo thời gian một chu kỳ T_x của tín hiệu cần đo.

Khi đo chu kỳ T_x ta thực hiện theo sơ đồ như hình 12.9.

Tín hiệu có tần số cần đo f_x qua “Bộ vào” và qua bộ tạo xung “TX” sẽ tạo ra tín hiệu T_x chính là chu kỳ của tần số cần đo. Tín hiệu T_x qua bộ điều khiển sẽ đưa vào mở khoá K, như vậy thời gian T_x chính bằng T_{do} .

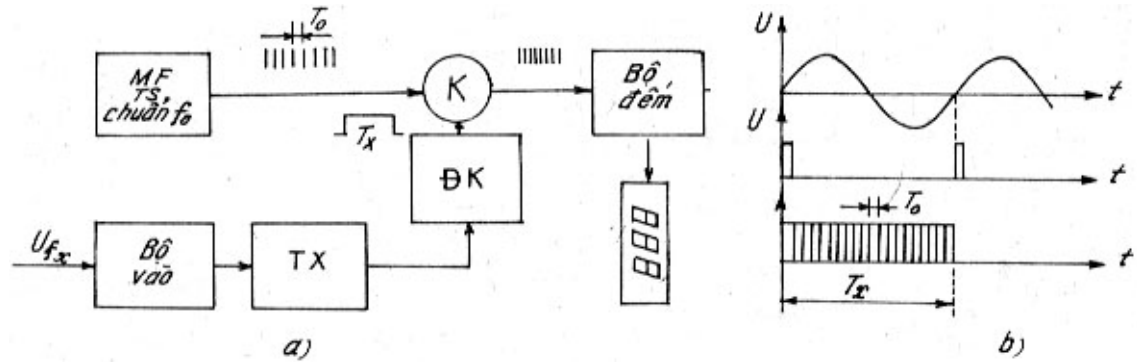
Trong thời gian T_x khi khoá K mở thì tín hiệu f_0 từ máy phát tần số chuẩn sẽ đi vào bộ đếm và ra cơ cấu chỉ thị số, số xung đếm được là N.

Quan hệ giữa N và T_x là:

$$N = \frac{T_x}{T_o} = \frac{f_o}{f_x}$$

suy ra tần số cần đo là:

$$f_x = \frac{1}{N} \cdot f_o$$



Hình 12.9. Tần số kế chỉ thị số giảm được sai số khi đo tần số thấp:

a) Sơ đồ khối ; b) Giảm độ xung

Sai số tương đối của phép đo chu kỳ được tính là:

$$\gamma_{Tx} = \pm \left[\gamma \cdot f_o + \frac{T_o}{(N \cdot T_x)} \right] \cdot 100(\%)$$