

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 621.317.337

А. Л. ГРОХОЛЬСКИЙ, В. А. ОРЛОВ  
 (Новосибирск)

**ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ СИСТЕМ**

Одним из распространенных методов определения добротности резонансного контура является метод, основанный на измерении декремента свободных колебаний в контуре. Если подать на контур импульс тока, который зарядит конденсатор контура, то при определенных условиях можно получить в контуре затухающие колебания. Эти условия находятся из дифференциального уравнения разряда конденсатора:

$$\frac{d^2UC}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{dUC}{dt} + \frac{UC}{LC} = 0, \quad (1)$$

где  $r$ ,  $L$ ,  $C$  — соответственно сопротивление, индуктивность и емкость контура;  
 $U_C$  — напряжение на конденсаторе.

Решение этого уравнения имеет следующий вид:

$$U_C = \frac{U_0}{p_1 - p_2} (-p_2 e^{p_1 t} + p_1 e^{p_2 t}), \quad (2)$$

где

$$p_1 = -\frac{r}{2L} + \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}};$$

$$p_2 = -\frac{r}{2L} - \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}.$$

При условии

$$\frac{1}{LC} > \frac{r^2}{4L^2}$$

$$U_C = \frac{U_0}{\omega_0} e^{-bt} (b \sin \omega_0 t + \omega_0 \cos \omega_0 t), \quad (3)$$

где  $b = \frac{r}{2L}$ ;

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{4L^2}};$$

$U_0$  — напряжение на конденсаторе в момент  $t=0$ .

Из уравнения (3) по напряжениям  $U_{C_1}$  и  $U_{C_2}$ , соответствующим моментам времени  $t_1$  и  $t_2 = t_1 + T$ , можно получить

$$\frac{U_{C_1}}{U_{C_2}} = e^{bT}$$

или

$$\ln \frac{U_{C_1}}{U_{C_2}} = \frac{r \pi}{2L f \pi} = \frac{\pi}{Q},$$

откуда для подсчета добротности контура можно найти удобное выражение

$$Q = \frac{\pi}{\ln \frac{U_{C_1}}{U_{C_2}}}. \quad (4)$$

Как видно из (4), зная отношения двух напряжений, соответствующих отрезкам времени  $t_1$  и  $t_2$ , можно найти добротность контура. Этот принцип положен в основу методов определения добротности, описанных в [1] и [2]. Однако отношение напряжений, особенно на высоких частотах, определяется с большими погрешностями, поэтому эти методы не обеспечивают необходимой точности.

В Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР разработан метод определения добротности контуров, исключающий необходимость в определении отношения двух напряжений на контуре. Он основан на сравнении экспоненциальной кривой изменения напряжения на  $RC$ -цепи при разряде ее конденсатора с огибающей свободных колебаний в исследуемом контуре. Известно, что после заряда импульсом тока емкости  $C$ , зашунтированной сопротивлением  $R$ , напряжение на нем будет изменяться по закону

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (5)$$

где  $U_0$  — начальное напряжение при разряде, когда  $t=0$ .

Подбирая значения  $RC$ , можно добиться равенства экспоненциальных показателей в (3) и (5). Следовательно, добротность контура будет определяться выражением

$$Q = \pi f_0 RC, \quad (6)$$

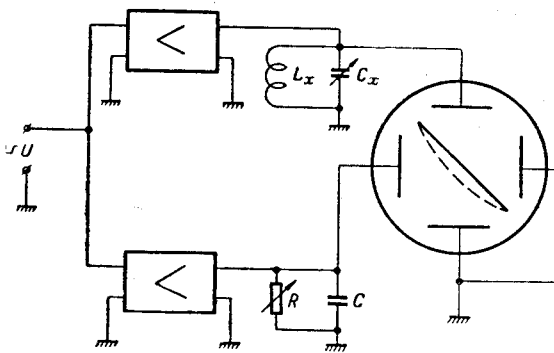
где  $f_0$  — частота свободных колебаний.

Из выражения (6), видно, что при использовании предлагаемого метода отпадает необходимость в определении отношения двух напряжений на контуре. Значение  $f_0$  может определяться со сколь угодно малой погрешностью,  $R$  находится путем измерения с помощью моста постоянного тока, а  $C$  измеряется на звуковой частоте. Как  $R$ , так и  $C$  можно найти с погрешностями, меньшими 0,1%. Следовательно, основная погрешность при определении  $Q$ , по выражению (6), будет зависеть от способа фиксации момента равенства экспоненциальных показателей в (3) и (5). Это можно получить несколькими способами. Наиболее простым оказался осциллографический метод. Блок-схема соответствующего устройства показана на рисунке.

Возбуждающие систему импульсы тока с напряжением  $U$  подаются на вход двух изолирующих исследуемые цепи усилителей. Усиленные импульсы тока попадают на исследуемый резонансный контур, состоящий из  $L_x$  и  $C_x$ , и вызывают в нем свободные затухающие колебания. Затухающее напряжение с конденсатора контура подается на электроды электронно-лучевой трубки и вызывает отклонение ее луча в вертикальном направлении.

Импульс тока, прошедший через нижний усилитель, заряжает конденсатор с емкостью  $C$ , который после окончания импульса начинает разряжаться через сопротивление  $R$ . Напряжение на конденсаторе  $C$ , поданное на горизонтальную отклоняющую систему электронно-лучевой трубки, отклонит ее луч в горизонтальном направлении. Совместное действие двух отклоняющих систем приводит к появлению на экране осциллографа кривой, которая в момент равенства экспоненциальных показателей превращается в прямую линию.

Погрешность метода зависит от точности фиксации момента выпрямления кривой. Экспериментально установлено, что визуально этот момент можно фиксировать



со случайной погрешностью порядка 1%. Эту погрешность можно значительно снизить, если в схему ввести синхронный коммутатор, периодически подключающий обе отклоняющие системы к  $RC$ -цепи. В этом случае на экране появляется заведомо прямая линия, с которой легко точно сравнивать выравниваемую кривую, определяемую уравнением (6).

Анализ показал, что неравенство начальных амплитуд на  $RC$ - и  $L_x C_x$ -цепях не вносит существенных погрешностей при определении  $Q$ . Ввиду того, что частота повторения зарядных импульсов и скорость разряда  $RC$ -цепи при средних и больших добротностях резонансных систем невелики, погрешность за счет остаточной индуктивности  $RC$ -цепи незначительна. Ее в случае необходимости можно при точных измерениях учесть.

С целью понижения погрешности при определении добротности за счет диэлектрических потерь в выходных цепях усилителей, подключенных к  $RC$  и  $LC$  контурам, а также в отклоняющих системах электронно-лучевой трубки приходится применять бесцокольные лампы и трубки, имеющие малые потери в стекле. Эти потери, если они недостаточно малы, можно исключить путем двойных измерений. Первое измерение производится при вспомогательном  $LC$  контуре, а второе — после подключения к нему исследуемого контура, катушки индуктивности или конденсатора. Обработкой результатов этих двух измерений можно исключить собственные потери в системе.

Дополнительные емкости и утечки в  $RC$ -цепи учитываются при ее аттестации, которая производится, когда  $RC$ -цепь включена в измерительную цепь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. I. Biggs, I. E. Hauldin. The development of Q-meter methods of impedance measurement.—The Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (London), 1949, v. 96, p. III.
2. С. Рыжко. Измеритель добротности, основанный на принципе подсчета электронных импульсов.—Бюллетень Польской Академии наук, 1956, отд. IV, т. IV, № 3.

Поступила в редакцию  
30 июля 1965 г.

УДК 681.2.03

**В. М. ЕФИМОВ**  
(Новосибирск)

### О ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ОДНОГО ИЗ СПОСОБОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

При измерении изменяющихся во времени величин в присутствии помех широкое применение находит операция статистической обработки результатов измерений. Одним из возможных вариантов такой обработки является способ «скользящего среднего». Сущность этого способа заключается в том, что значение измеряемой величины в момент времени  $t$  определяется как среднее от симметрично расположенных относительно этого момента времени отсчетов, т. е.\*

$$x^*(t) = \frac{1}{n} \sum_{k = -\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} [x(t+k\Delta) + y(t+k\Delta)], \quad (1)$$

где  $\Delta$  — интервал времени между измерениями;  
 $x(t+k\Delta) + y(t+k\Delta)$  — значения отсчетов;  
 $y(t+k\Delta)$  — погрешность, сопровождающая результат измерения.

\* В (1) число отсчетов  $n$  для удобства вычислений взято нечетным.