

П. П. КЕМЕШИС

(Каунас)

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ КОМПЕНСАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА*

В статье дается оценка динамических погрешностей компенсаторов переменного тока с помощью метода комплексной передаточной функции.

Компенсационные устройства переменного тока довольно широко используются в электроизмерительной технике. Автоматизация компенсаторов переменного тока требует подробного исследования их динамики. В настоящей работе приводится методика построения математической модели, используемой для оценки динамических свойств компенсационных устройств переменного тока.

Автоматический компенсатор переменного тока представляет собой двухканальную следящую систему, структурная схема которой дана в [1, 2], а в более общем виде — на рис. 1. Основные элементы компенсационного устройства переменного тока: демодуляторы D_1 и D_2 первого

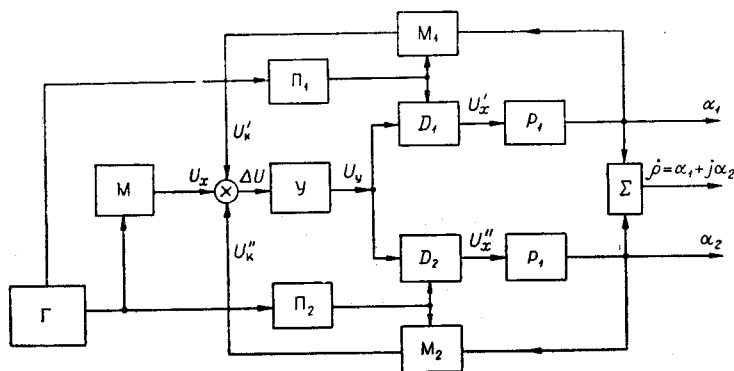


Рис. 1.

и второго каналов, модуляторы M_1 и M_2 в цепях обратной связи каналов, создающие компенсационные сигналы U_k' и U_k'' , усилитель U , преобразователи Π_1 и Π_2 для сдвига на 90° опорных напряжений демодуляторов и модуляторов, генератор Γ , питающий измерительную схему M и устройство, а также другие вспомогательные звенья (например, суммирующий элемент Σ).

* Материал доложен на VI Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1964 г. в Новосибирске.

Компенсаторы переменного тока определяют амплитуду U (или действующее значение) и фазу Θ гармонического колебания ω_c :

$$x(t) = U \cos(\omega_c t + \theta) = U'_x \cos \omega_c t - U''_x \sin \omega_c t. \quad (1)$$

Целесообразно считать, что автоматические компенсаторы переменного тока при исследовании их динамики подвергаются действию гармонического сигнала, модулированного по амплитуде и фазе:

$$x(t) = U(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)] = U'_x(t) \cos \omega_c t - U''_x(t) \sin \omega_c t, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} U'_x(t) &= U(t) \cos \theta(t); \\ U''_x(t) &= U(t) \sin \theta(t); \end{aligned} \quad (3)$$

$U(t)$ — модуляционная функция амплитуды;

$\Theta(t)$ — модуляционная функция фазы несущего колебания ω_c .

Поскольку каналы устройства приняты симметричными, то математическая модель компенсатора переменного тока может быть представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_1(p) = W_1(p) U'_x(p) - W'_1(p) U''_x(p) + W_2(p) \alpha_2(p); \\ \alpha_2(p) = W_1(p) U''_x(p) + W'_1(p) U'_x(p) - W_2(p) \alpha_1(p), \end{cases} \quad (4)$$

где p — оператор Лапласа.

На основании (4) можно построить структурную схему (рис. 2). Из рисунка видно, что компенсатор переменного тока действительно является двухканальной системой с антисимметричными перекрестными связями каналов. Прямая передача сигнала по каналам устройства определяется передаточной функцией $W_1(p)$, поперечная передача сигнала в смежный канал — $W'_1(p)$, а взаимосвязь каналов через сигналы обратной связи — $W_2(p)$.

В [3] описано компенсационное автоматическое двухканальное устройство, которое отличается тем, что в качестве исполнительного органа

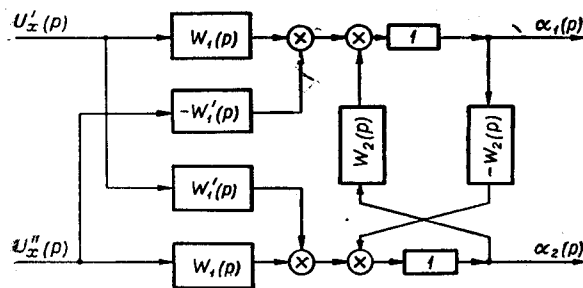


Рис. 2.

в каждом канале применяется магнитоэлектрический прибор без противодействующего момента, управляемый фазочувствительным детектором, а модулятором в цепи обратной связи является ферродинамический прибор, рамка которого скреплена с рамкой магнитоэлектрического прибора на общей оси. Когда каналы такого устройства симметричны, то прямая передача сигнала по каналам устройства определяется передаточной функцией

$$W_1(p) = \frac{K(p)}{Z(p)} \cdot \frac{1}{A(p)} \cos(\varepsilon + \gamma), \quad (5)$$

где $K(p)$ — передаточная функция усилителя;
 $Z(p)$ — импедансная функция цепи магнитоэлектрического исполнительного органа;
 ε — фазовый сдвиг сигнала в усилителе;
 $90^\circ + \gamma$ — фазовый угол между опорными напряжениями детекторов каждого канала;
 $A(p)$ характеризует электромеханическую часть каждого канала устройства

$$A(p)^2 = T_2^2 p^2 + \left[T_1 + \frac{K(p)}{Z(p)} \psi \sin(\varepsilon + \gamma) \right] p + s + \frac{K(p)}{Z(p)} \psi \omega_c \cos(\varepsilon + \gamma)$$

(T_1 — постоянная, характеризующая успокоение прибора;
 T_2 — постоянная, характеризующая инертность прибора;
 s — статизм, создаваемый механическим противодействующим моментом рамки прибора;
 ψ — полное потокосцепление рамки ферродинамического прибора).
 Поперечная передача сигнала определяется передаточной функцией

$$W_1'(p) = \frac{K(p)}{Z(p)} \frac{1}{A(p)} \sin(\varepsilon + \gamma). \quad (6)$$

Взаимосвязь каналов через сигналы обратной связи выражается передаточной функцией

$$W_2(p) = \frac{K(p)}{Z(p)} \frac{1}{A(p)} [\psi \omega_c \sin(\varepsilon + \gamma) - \psi p \cos(\varepsilon + \gamma)]. \quad (7)$$

Из (6) — (7) видно, что поперечная передача сигнала в другой канал и статическая взаимосвязь каналов исключается, если

$$\varepsilon + \gamma = 0. \quad (8)$$

Когда в усилителе сдвигается фаза сигнала или нарушается ортогональность опорных напряжений детекторов, то значительно усиливается взаимосвязь каналов и возрастает время переходного процесса устройства. Зависимость времени уравновешивания компенсатора от фазового сдвига в усилителе показана на рис. 3. Параметры устройства: $T_1 = 1,59 \cdot 10^{-4}$ асек; $T_2 = 1,32 \cdot 10^{-3}$ а^{1/2}сек; $\psi = 6,1 \cdot 10^{-6}$ всек; $\omega_c = 6,28 \cdot 10^3$ 1/сек; $Z(p) = r = 760$ ом; $\gamma = 0$; $s = 0$; $K(p) = K = 100$. Как показывает график, при увеличении ε время уравновешивания устройства увеличивается, а при углах, превышающих 50° , система становится неустойчивой.

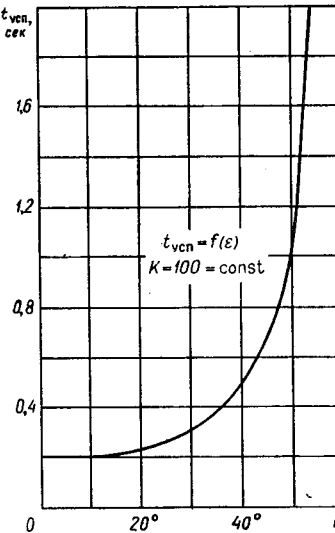


Рис. 3.

Математическая модель компенсатора переменного тока может быть представлена в виде, удобном для практического использования. Преобразуем (4):

$$\alpha_1(p) = C(p) U_x'(p) - D(p) U_x''(p); \quad (9)$$

$$\alpha_2(p) = C(p) U_x''(p) + D(p) U_x'(p), \quad (10)$$

где

$$C(p) = \frac{W_1(p) + W_1'(p) W_2(p)}{1 + W_2(p)^2}; \quad (11)$$

$$D(p) = \frac{W_1'(p) - W_1(p) W_2'(p)}{1 + W_2(p)^2}. \quad (12)$$

Умножая (10) на j и суммируя (9) и (10), находим комплексную выходную координату устройства:

$$\begin{aligned} \dot{p}(p) &= \alpha_1(p) + j\alpha_2(p) = [U_x'(p) + jU_x''(p)] [C(p) + jD(p)] = \\ &= \dot{U}_x(p) \dot{W}(p). \end{aligned} \quad (13)$$

Из (13) видно, что комплексная передаточная функция системы имеет вид

$$\frac{\dot{p}(p)}{\dot{U}_x(p)} = \dot{W}(p) = C(p) + jD(p), \quad (14)$$

где $C(p)$ и $D(p)$ определяются зависимостями (11) и (12).

Комплексная передаточная функция (14) определяется как

$$\dot{W}(p) = C(p) \sqrt{1 + \frac{D(p)^2}{C(p)^2}} = e^{j \arctg \frac{D(p)}{C(p)}} = C(p) M(p) e^{j\xi(p)}. \quad (15)$$

В последнем выражении

$$M(p) = \sqrt{1 + \frac{D(p)^2}{C(p)^2}} = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \xi(p)} \quad (16)$$

представляет собой искажение модуля входного сигнала, а

$$\xi(p) = \arctg \frac{D(p)}{C(p)} \quad (17)$$

— искажение фазы входного сигнала.

Таким образом, комплексная передаточная функция позволяет определить динамическую точность компенсатора переменного тока. Приведенные выражения (16), (17) характеризуют модуль и фазу векторной динамической погрешности компенсатора.

Следовательно, метод комплексных передаточных функций позволяет удобно оценить векторные динамические погрешности компенсаторов переменного тока в зависимости от влияния параметров компенсационного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Кемешис. Передаточные функции автоматического компенсационного измерителя емкости и $\operatorname{tg}\delta$.— Научные труды вузов ЛитССР, Электротехника, т. I. Вильнюс, 1961.
2. А. М. Мелик-Шахназаров. Автоматизация прямоугольных компенсаторов переменного тока.— Измерительная техника, 1959, № 7.
3. П. П. Кемешис. Двухканальный компенсограф переменного тока.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды III конференции, 1961 г.), т. I. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.

Поступила в редакцию