

ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.317.7.033.5

Т. И. ИБРАГИМЗАДЕ, В. Б. КАНТОРОВИЧ

(Баку)

ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ОДНОГО КЛАССА ЦИФРОВЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В цифровых компенсаторах переменного тока способ уравнивания измеряемой величины в значительной степени определяет собой устойчивость процесса уравнивания, быстродействие, а также конструктивную сложность прибора.

Известно, что компенсаторы переменного тока имеют два канала уравнивания. При отсутствии взаимной связи между ними исполнительный орган одного канала реагирует только на сигнал, совпадающий по фазе с компенсирующим напряжением этого канала. При наличии взаимосвязи (она может быть вызвана, например, искажениями фазы сигнала в усилителе нуль-индикатора) сигнал, совпадающий по фазе с компенсирующим напряжением одного из каналов, проходя через усилитель, смещается по фазе и в результате воздействует на исполнительные органы обоих каналов.

Взаимосвязь контуров уравнивания характеризуется углом фазового сдвига α векторов фазовой чувствительности \dot{A}_x (\dot{A}_y) относительно компенсирующих напряжений U_{kx} (U_{ky}). Если входной сигнал совпадает по фазе с \dot{A}_x (A_y), работает только один исполнительный орган, изменяющий напряжение U_{kx} (U_{ky}). Взаимосвязь контуров сохраняется и при дискретном уравнивании.

В связи с этим возникает необходимость выяснить степень влияния взаимосвязи контуров уравнивания на устойчивость работы цифровых компенсаторов переменного тока в зависимости от применяемого способа уравнивания. Ранее* исследовалось влияние взаимосвязи контуров на работу цифровых прямоугольно-координатных компенсаторов со способом уравнивания начиная с младшей декады. В данной статье исследуется сходимость процесса уравнивания цифровых прямоугольно-координатных компенсаторов с применением анализаторов величины напряжения неравновесия (АВН).

АВН представляют собой пороговые устройства (ими могут быть, например, трехпозиционные поляризованные реле), меняющие величину

* В. Б. Канторович, А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн. Исследование процесса уравнивания в цифровых компенсаторах переменного тока.— Автометрия, 1965, № 2.

вводимой ступени компенсирующего напряжения в зависимости от величины напряжения неравновесия. Другими словами, скорость уравнивания зависит от степени неравновесия. При большой степени неравновесия компенсирующее напряжение вводится большими ступенями, что позволяет число шагов, необходимое для преодоления этого неравновесия, уменьшить по сравнению с уравниванием начиная с младшей декады, когда независимо от величины неравновесия приходится начинать уравнивание малыми ступенями. Чем меньше степень неравновесия, тем меньше ступени вводимого напряжения. Этим обеспечивается плавный подход к положению равновесия.

Рассматриваемый способ уравнивания может иметь несколько разновидностей, различающихся количеством анализируемых уровней внутри заданного диапазона измерения. В статье рассмотрена одна из

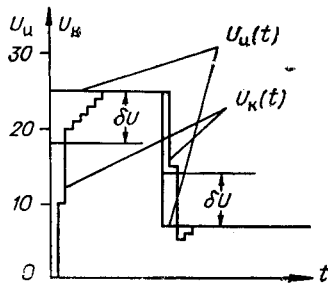


Рис. 1.

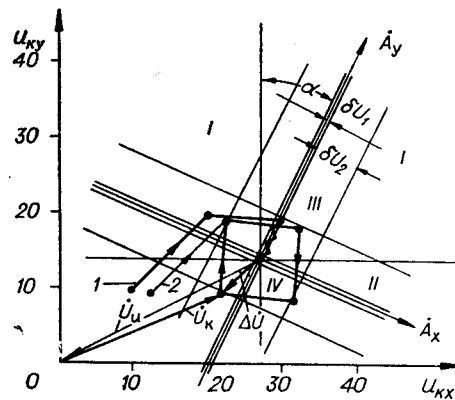


Рис. 2.

них: количество анализируемых уровней равно числу декад компенсатора, причем если напряжение неравновесия превышает порог чувствительности (уставку) АВН n -й декады ($n \geq 1$), то уравнивание ведется ступенями только n -й декады, т. е. шаг срабатывания равен 10^{n-1} . При этом количество АВН на одну декаду наименьшее (по одному на декаду), и схема управления отличается сравнительной простотой.

На рис. 1 представлены годографы напряжения неравновесия при уравнивании по одной составляющей компенсирующего напряжения в отсутствие взаимосвязи контуров*. Измеряемая величина сначала равна 25 единицам, а затем 7 единицам. Порог чувствительности АВН δU составляет 7 единиц.

На рис. 2 показан процесс уравнивания в цифровом прямоугольно-координатном компенсаторе при наличии взаимосвязи контуров. \dot{U}_u — вектор измеряемого напряжения, \dot{U}_k — вектор компенсирующего напряжения, $\Delta \dot{U} = \dot{U}_u + \dot{U}_k$ — вектор напряжения неравновесия. Нетрудно заметить, что если годограф 1 характеризует сходящийся процесс уравнивания, то годограф 2 приводит к периодическому режиму. На этом же рисунке δU_1 и δU_2 — соответственно порог чувствительности компенсатора (он же порог чувствительности АВН первой, т. е. младшей декады) и порог чувствительности АВН второй декады; I — область, где срабатывают ступени вторых декад обеих составляющих; II — область, где по оси U_{kx} срабатывают ступени второй декады, а по оси U_{ky} — ступени первой декады; III — по оси U_{ky} срабатывают

* Процесс, изображенный на рис. 1, можно наблюдать и в цифровых компенсаторах постоянного тока при применении рассматриваемого способа уравнивания.

ступени второй, а по оси U_{kx} — ступени первой декады; VI — по обеим осям срабатывают ступени первой декады.

Характер процесса уравнивания зависит как от взаимосвязи контуров, так и от длительности переходных процессов в системе. В данной работе исследуется случай малых частот генератора импульсов, когда длительностью переходных процессов можно пренебречь по сравнению с периодом генератора импульсов. Последнее обстоятельство позволяет на основе графических построений в плоскости компенсирующих напряжений вывести зависимость граничного угла взаимосвязи контуров, в пределах которого процесс уравнивания устойчив, от различных параметров, характеризующих данный способ уравнивания.

Для исследования устойчивости процесса уравнивания рассмотрим движение точки A (конца вектора $\Delta \dot{U}$) в плоскости U_{kx} , U_{ky} . Пусть рассматриваемая точка A в исходном положении находится в одном из квадрантов (допустим, во втором, т. е. в верхнем левом квадранте) векторов фазовой чувствительности \dot{A}_x , \dot{A}_y , вне обеих зон нечувствительности АВН второй декады (рис. 3). Векторы \dot{A}_x и \dot{A}_y сдвинуты между собой на 90° , а относительно осей U_{kx} — U_{ky} — на произвольный угол α ($0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$).

В процессе уравнивания любой величины возможны два случая: 1) в результате очередного шага конец вектора ΔU попадает в точку, из которой дальнейшее уравнивание производится в проти-

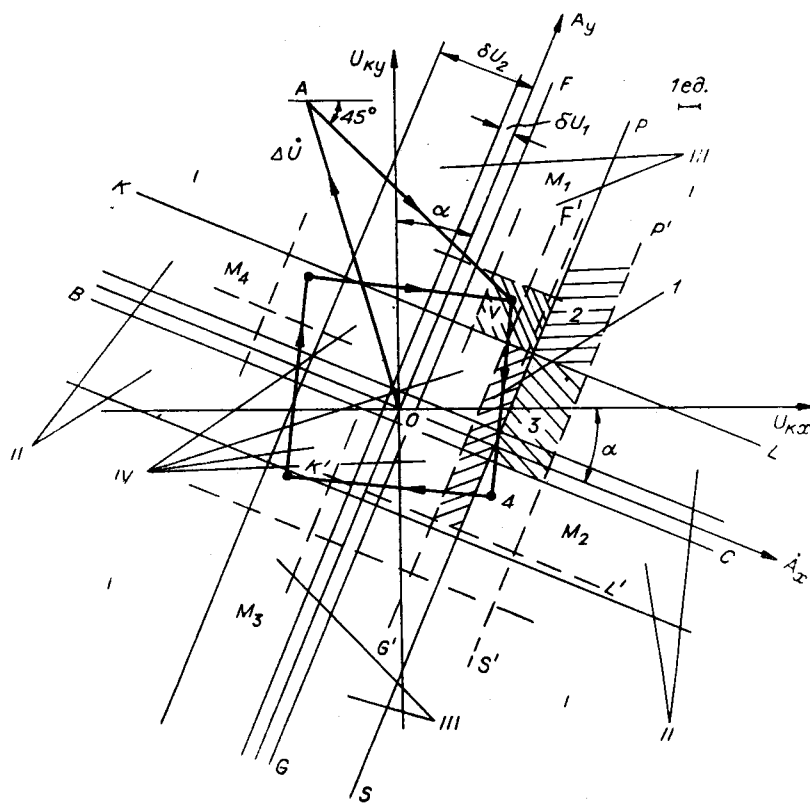


Рис. 3.

воположном по отношению к предыдущему шагу направлению; 2) направление дальнейшего уравнивания не изменяется.

Рассмотрим первый случай, поскольку второй случай всегда приводится к первому. Пусть при первом же срабатывании конец вектора $\Delta \dot{U}$ попадает внутрь зоны нечувствительности (удвоенный порог чувствительности) АВН второй декады оси U_{kx} . Можно показать, что при значениях угла $\alpha > \arcsin \frac{\delta U_2 - \delta U_1}{10}$ конец вектора $\Delta \dot{U}$ (точка А) ли-

бо попадает в процессе уравнивания в правую часть указанной зоны нечувствительности (зона M_1), либо «перескакивает» через нее, либо, наконец, оказывается внутри квадрата, образованного пересечением двух зон нечувствительности АВН второй декады (назовем его для краткости старшим квадратом). Если же угол α находится в пределах $0^\circ < \alpha \leq \arcsin \frac{\delta U_2 - \delta U_1}{10}$, конец вектора ΔU всегда попадает в зону M_1 (при условии, что еще до попадания в нее он не окажется в старшем квадрате).

В самом деле, если конец вектора $\Delta \dot{U}$ переходит в зону M_1 из любой точки, расположенной на правой границе зоны нечувствительности первой декады оси U_{kx} (прямая FG), то он окажется в пределах зоны M_1 в результате перехода из любой точки, расположенной левее указанной границы. Следовательно, предельное значение угла α соответствует случаю, когда конец вектора $\Delta \dot{U}$ из любой точки, расположенной на прямой FG , попадает на правую границу M_1 , т. е. PS . Поскольку в пределах и на границе зоны нечувствительности АВН первой декады оси U_{kx} уравнивание ведется параллельно оси U_{ky} , а шаг срабатывания равен 10, то $\alpha = \arcsin \frac{\delta U_2 - \delta U_1}{10}$ (см. рис. 3).

Случай попадания конца вектора $\Delta \dot{U}$ внутрь старшего квадрата мы не рассматриваем, считая, что при этом дальнейший процесс уравнивания, поскольку он производится ступенями младшей декады, устойчив. Условия устойчивости приведены в* и определяются формулой

$$\alpha \leq \alpha_{гр} = \arcsin (\delta U_1 - \sqrt{0,5 - \delta U_1}), \quad (1)$$

т. е. угол $\alpha_{гр}$ можно довести до 45° посредством увеличения порога чувствительности δU_1 до 0,707 от единицы младшей декады компенсатора. Линии уравнивания компенсатора из зоны M_1 составляют с осью U_{kx} угол $\arctg 10$, так как по оси U_{ky} срабатывает ступень второй декады (10 единиц), а по U_{kx} — ступень первой декады (1 единица). Для того чтобы проследить дальнейшее движение совокупности точек — концов вектора $\Delta \dot{U}$, осуществим параллельный перенос границ этой зоны на 10 единиц в отрицательном направлении оси U_{ky} и на 1 единицу в отрицательном направлении U_{kx} (т. е. в том направлении, в котором производится уравнивание из точек, принадлежащих зоне M_1).

Уравнения прямых PS , FG , KL , представляющих собой границы зоны M_1 , соответственно являются:

$$y = \frac{x \cos \alpha - \delta U_2}{\sin \alpha}; \quad y = \frac{x \cos \alpha - \delta U_1}{\sin \alpha}; \quad y = \frac{\delta U_2 - x \sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

* В. Б. Канторович, А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн. Указ. соч.

Уравнениями смещенных прямых $P'S'$, $F'G'$, $K'L'$ соответственно являются:

$$\begin{aligned} y &= \frac{(x+1) \cos \alpha - \delta U_2 - 10 \sin \alpha}{\sin \alpha}; \\ y &= \frac{(x+1) \cos \alpha - \delta U_1 - 10 \sin \alpha}{\sin \alpha}; \\ y &= \frac{\delta U_2 - (x+1) \sin \alpha - 10 \cos \alpha}{\cos \alpha}. \end{aligned} \quad (2a)$$

На рис. 3 смещенные прямые изображены штриховыми линиями. Точки, принадлежавшие зоне M_1 , оказались в областях 1, 2, 3, 4. Дальнейший процесс уравнивания для точек области 1 устойчив, для точек области 2 — в принципе повторяет процесс уравнивания для точек, принадлежащих второму квадранту, т. е. соответствует случаю, с которого были начаты рассуждения. Точки, расположенные между прямыми KL и BC , при $\alpha < \arcsin \frac{\delta U_2 - \delta U_1}{10}$ попадают при дальнейшем уравнивании либо в старший квадрант, либо в зону M_2 , аналогичную по своему расположению зоне M_1 . Наконец, область 4 представляет собой совокупность точек, непосредственно перешедших из зоны M_1 в зону M_2 .

Зная направление и величину шага срабатывания при уравнивании из зоны M_2 (10 единиц в отрицательном направлении U_{kx} и 1 единица в положительном направлении U_{ky}), перенесем границы области 4. При этом часть точек области 4 окажется внутри зоны M_3 . Переносим подобным образом концы векторов $\Delta \dot{U}$ из одной зоны M в другую, получим некоторую область внутри зоны M_1 , точки которой описывают замкнутый цикл, т. е. в компенсаторе возникает периодический режим. Площадь этой области (обозначена буквой V) составляет

$$S_V = (11 \sin \alpha + 9 \cos \alpha - 2\delta U_2)^2. \quad (3)$$

В более общем случае, когда в периодическом режиме принимают участие ступени n -й и $(n+1)$ -й декад, при условии $0,5025 \cdot 10^n \leq \delta U_{n+1} \leq 0,707 \cdot 10^n$

$$S_V = (1,1 \cdot 10^n \sin \alpha + 0,9 \cdot 10^n \cos \alpha - 2\delta U_{n+1})^2, \quad (4)$$

где δU_{n+1} — порог чувствительности АВН $(n+1)$ -й декады.

Периодический режим отсутствует, когда $S_V = 0$. При этом

$$\alpha \leq \alpha_{\text{гр}} = \arcsin \frac{2,2 \delta U_{n+1} - 0,9 \sqrt{2(1,01 \cdot 10^{2n} - 2\delta U_{n+1}^2)}}{2,02 \cdot 10^n}. \quad (5)$$

Другие виды периодических режимов в компенсаторах с рассматриваемым способом уравнивания, возникающие при больших значениях α , отсутствуют, если описанный выше периодический режим не имеет места.

Как следует из (5), увеличение порога чувствительности АВН позволяет расширить диапазон углов α взаимосвязи контуров уравни-

вания, в пределах которого периодические режимы в компенсаторе не возникают. В частности, при увеличении порога чувствительности АВН $(n+1)$ -й декады до значения $0,707 \cdot 10^n$ циклы с участием ступеней n -й и $(n+1)$ -й декад отсутствуют при любом значении α , находящемся в пределах $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$.

Таким образом, формула (5) позволяет, задаваясь порогами чувствительности анализаторов величины напряжения неравновесия любой декады цифрового прямоугольно-координатного компенсатора, найти допустимый для данного компенсатора угол α , определяющий собой тщательность настройки нуль-индикатора. Можно решить и обратную задачу: по достигнутому в результате настройки значению максимально возможного угла взаимосвязи контуров определить необходимые для устойчивой работы пороги чувствительности анализаторов.

*Поступила в редакцию
5 октября 1965 г.,
окончательный вариант —
22 июня 1967 г.*