УДК 621.317.727.2

Т. А. АЛИЕВ, И. Л. ШАЙН
(*Баку*)

ВОПРОСЫ ВЫБОРА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОРОГОВЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ДИСКРЕТНЫХ ПОЛЯРНО-КООРДИНАТНЫХ АВТОКОМПЕНСАТОРОВ

Одним из основных вопросов построения дискретных систем уравновешивания является рациональный выбор чувствительности пороговых устройств [1, 2]. Сложность выбора чувствительности пороговых устройств определяется противоречивыми требованиями метрологических и динамических свойств дискретных систем уравновешивания [1, 2], что и предопределяет важность оптимального решения поставленной задачи. Этот вопрос особенно актуален для дискретных полярно-координатных систем (ДПКС), характеризующихся нелинейностью фазового канала и наличием взаимосвязи контуров уравновешивания (ВКУ) [3, 4].

Как и во всякой дискретной следящей системе, в ДПКС возможны периодические режимы (ПР) даже при точной установке векторов фазовой чувствительности (ВФЧ). В самом деле, рассмотрим случаи возникновения ПР вблизи состояния равновесия ДПКС, полагая ВФЧ канала уравновешивания по амплиуде ($\dot{A}_a$) совпадающим по фазе с компенсирующим вектором ($\dot{U}_к$), а ВФЧ канала уравновешивания по фазе ($\dot{A}_\varphi$) сдвинутым строго на 90 градусов [4]. Будем считать, что если проекции сигнала рассогласования (ΔU) на ВФЧ имеют положительный знак, то изменение уравновешивающего параметра будет осуществляться в сторону увеличения модуля вектора $\dot{U}_к$ и поворота последнего против часовой стрелки. Итак, предположим, что первоначально конец вектора $\dot{U}_к$ находится в вершине B (рис. 1, *а*) «полярного квадрата» [3]. Тогда проекции сигнала рассогласования $\Delta\dot{U}_1=\dot{U}_и-\dot{U}_к$ на ВФЧ соответственно равны δU_{a1} и $\delta U_{\varphi1}$. Если $|\delta U_{a1}|$ меньше чувствительности канала «модуль» — δ_a, а $|\delta U_{\varphi1}|$ больше чувствительности канала «фаза» — δ_φ, то вектор $\dot{U}_к$ переходит в положение E; если после этого $|\delta U_{a2}|\leqslant\delta_a$ и $|\delta U_{\varphi2}|\geqslant\delta_\varphi$, то вектор $\dot{U}_к$ снова возвращается в точку B, т. е. возникает ПР по каналу «фаза» (в дальнейшем будем говорить просто по фазе). Если же $|\delta U_{a1}|\geqslant\delta_a$ и $|\delta U_{\varphi1}|\leqslant\delta_\varphi$, то вектор $\dot{U}_к$ перейдет в положение C; при $|\delta U_{a4}\geqslant\delta_a$ и $|\delta U_{\varphi4}|\leqslant\delta_\varphi$ он затем вновь вернется в точку B, т. е. возникает ПР по каналу «модуль» (в дальнейшем будем говорить по модулю). В том случае, когда $|\delta U_{a1}|\geqslant\delta_a$; $|\delta U_{\varphi1}|\geqslant\delta_\varphi$; $|\delta U_{a3}|\geqslant\delta_a$ и $|\delta U_{\varphi3}|\geqslant\delta_\varphi$, в системе возникает ПР одновременно по фазе и модулю.

Определим сначала условия выбора значений δ_a и δ_φ для устранения ПР в ДПКС в простейших случаях. Допустим, что измеряемый вектор $\dot{U}_и$ совпадает с $\dot{U}_к$ по фазе. Для того чтобы предотвратить ПР по каналу «модуль», должно удовлетвориться одно из неравенств (см. рис. 1, *а*): $\delta_a\geqslant|\delta U_{a1}|$; $\delta_a\geqslant|\delta U_{a4}|$. Отсюда можно найти величину чувствительности δ_a:

$$2\delta_a \geqslant |\delta U_{a1}| + |\delta U_{a4}| = \Delta_a, \quad \delta_a \geqslant \frac{1}{2}\Delta_a. \tag{1}$$

Чтобы не было ПР по фазе при $|\dot{U}'_и|=|\dot{U}_к|$ (см. рис. 1, *а*), должно удовлетвориться одно из неравенств: $\delta_\varphi\geqslant|\delta U'_{\varphi1}|$; $\delta_\varphi\geqslant|\delta U'_{\varphi2}|$, откуда

$$2\delta_\varphi \geqslant |\delta U'_{\varphi1}| + |\delta U'_{\varphi2}|. \tag{2}$$

Величины $|\delta U'_{\varphi1}|$ и $|\delta U'_{\varphi2}|$ являются функциями $|\Delta\dot{U}'_1|$ и $|\Delta\dot{U}'_2|$. Легко показать, что правая часть выражения (2) имеет при $\beta=\frac{1}{2}\Delta_\varphi$ максимум, примерно равный $2|U_к|\sin\frac{\Delta_\varphi}{2}$. Так как $|\dot{U}_к|=n\Delta_a$ и можно принять с достаточной точностью, что $\sin\frac{1}{2}\Delta_\varphi\approx\frac{1}{2}\Delta_\varphi$, то

$$\delta_\varphi \geqslant \frac{1}{2} n\Delta_a\Delta_\varphi, \tag{3}$$

т. е. чувствительность канала «фаза» линейно зависит от величины компенсирующего параметра.

Теперь рассмотрим более общий случай, когда $|\dot{U}_и|\neq|\dot{U}_к|$. Для этого обратимся к рис. 1, *б*, на котором относительно вершин B и C проведены границы области нечувствительности пороговых устройств и указаны характерные зоны M и F. Если конец век-

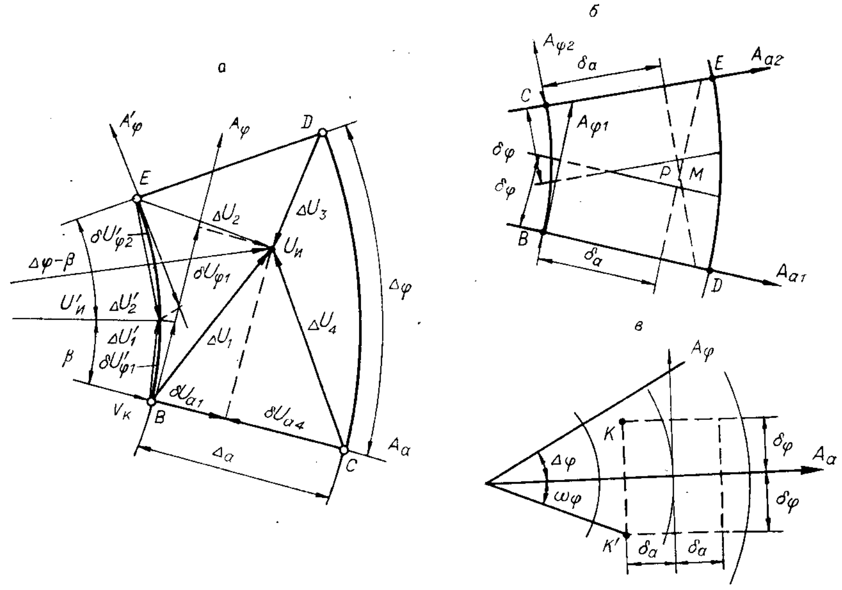

Рис. 1.

тора $\dot{U}_и$ расположен в области M, то вектор $\dot{U}_к$ (находящийся в точках B или C) изменяется по фазе и модулю и переходит в точки E или D, для которых $\delta_a > |\delta U_a|$ и $\delta_\varphi > |\delta U_\varphi|$, и процесс уравновешивания завершается. А если конец вектора $\dot{U}_и$ находится в области P, то $\delta_a > |\delta U_a|$ и $\delta_\varphi < |\delta U_\varphi|$ и возникает ПР по фазе. Вышеуказанный ПР пропадает при условии равенства нулю площади P. Из рис. 1, *б* видно, что при этом

$$\delta_\varphi = (n\Delta_a + \delta_a)\,\mathrm{tg}\,\frac{1}{2}\,\Delta_\varphi \approx \frac{1}{2}\,(n+f)\,\Delta_a\Delta_\varphi, \tag{4}$$

где $f = \delta_a/\Delta_a$; $0{,}5 < f < 1{,}0$.

Легко показать, что выбором δ_a и δ_φ из условий (1) и (4) устраняются и ПР с одновременной регулировкой по обоим каналам.

Чувствительности пороговых устройств ДПКС по-разному определяют погрешности измерения: если погрешность по модулю почти во всем диапазоне измерения остается величиной постоянной и не превышает δ_a, то погрешность по фазе не остается величиной постоянной даже при изменении δ_φ пропорционально величине n. Действительно, в состоянии равновесия вектору $\dot{U}_к$ соответствуют все векторы $\dot{U}_и$, концы которых расположены в области нечувствительности (см. рис. 1, *в*); и максимальной погрешности по фазе $|\omega_\varphi|$ соответствует положение вектора $\dot{U}_и$ в точках К или К'; при этом

$$\omega_\varphi = \mathrm{arc\,tg}\,\frac{\delta_\varphi}{n\Delta_a - \delta_a}, \tag{5}$$

или, учитывая выражение (4), имеем

$$\omega_\varphi = \mathrm{arc\,tg}\left(\frac{1}{2}\,\frac{n+f}{n-f}\,\Delta_\varphi\right). \tag{6}$$

Согласно (6), при $n \gg f$ $\quad \omega_\varphi = \mathrm{arc\,tg}\,\frac{1}{2}\,\Delta_\varphi$,

т. е. ω_φ не зависит от n. Однако при n соизмеримом с f, т. е. в начале диапазона, погрешность ω_φ резко возрастает (кривая *1* на рис. 2) и приобретает максимум при $n=1$ (при $n=0$ отсчет фазы не имеет физического смысла).

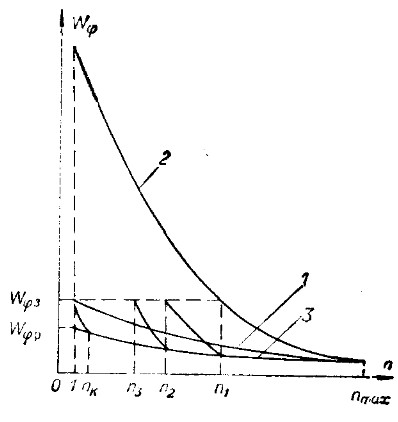

Рис. 2.

Реализация построения ДПКС с пропорционально регулируемой δ_φ связана с большими конструктивными трудностями. Но если δ_φ выбрать соответствующей n_{max} и оставить постоянной во всем диапазоне изменений $U_к$, то в этом случае погрешности оказываются еще большими (кривая *2* на рис. 2). Поэтому предлагается весь диапазон измерений разбить на поддиапазоны, в которых $\delta_\varphi = \mathrm{const}$ и соответствует конечному $U_к(n)$ каждого поддиапазона.

Интервалы каждого поддиапазона можно найти, используя зависимость $\omega_\varphi = \psi(n)$. Определяя δ_φ для конца диапазона из выражения (4) и подставляя его в выражение (5), можно для заданной погрешности по фазе $\omega_{\varphi з}$ найти n, соответствующее началу диапазона:

$$
\begin{aligned}
&\mathrm{tg}\,\omega_{\varphi з} \geqslant \frac{1}{2}\,\frac{n_{max}+f}{n_1-f}\,\Delta_\varphi;\\
&\mathrm{tg}\,\omega_{\varphi з} \geqslant \frac{1}{2}\,\frac{n_1+f}{n_2-f}\,\Delta_\varphi;\\
&\cdots\cdots\cdots\\
&\mathrm{tg}\,\omega_{\varphi з} \geqslant \frac{1}{2}\,\frac{n_{к-1}+f}{n_к-f}\,\Delta_\varphi;\\
&\mathrm{tg}\,\omega_{\varphi з} \geqslant \frac{1}{2}\,\frac{n_к+f}{1-f}\,\Delta_\varphi.
\end{aligned}
\tag{7}
$$

Выражение для начального значения каждого поддиапазона определяется соотношением

$$
n_к \geqslant (n_{max}+f)\left(\frac{\Delta_\varphi}{2\,\mathrm{tg}\,\omega_{\varphi з}}\right)^к + f\left[1+\sum_{к=2}^{к} 2^{(2-к)}\Delta_\varphi^{(к-1)}\,\mathrm{tg}^{(1-к)}\omega_{\varphi з}\right]. \tag{8}
$$

Если в выражение (8) поставить Δ_φ, соответствующее $\omega_{\varphi з}$, то число поддиапазонов $N = к+1$ оказывается большим. Для уменьшения последнего в расчетах можно использовать $\omega_{\varphi р} = \frac{1}{\varepsilon}\,\omega_{\varphi з}$. Определив из выражения (7) для левого крайнего диапазона $n_к$, а из выражения (6) — Δ_φ для $n=1$ и подставив эти значения в формулу (8), получаем

$$
(n_{max}+f)\left[\frac{1-f}{\varepsilon(1+f)}\right]^к + 2f\left\{1+\sum_{к=2}^{к}\left[\frac{1-f}{\varepsilon(1+f)}\right]^{(к-1)}\right\} \leqslant \varepsilon(1+f). \tag{9}
$$

На основе выражения (9) на рис. 3 построены графики зависимости числа поддиапазонов от величин n_{max} и ε при $f=0{,}51$. Из графиков видно, что максимальное число поддиапазонов имеет место при $\varepsilon=1$, причем незначительное увеличение ε резко уменьшает число поддиапазонов N.

Полученные соотношения позволяют выбрать требуемые чувствительности пороговых устройств каналов уравновешивания ДПКС и при заданной погрешности измерения фазы оптимально определить дискретный шаг канала «фаза».

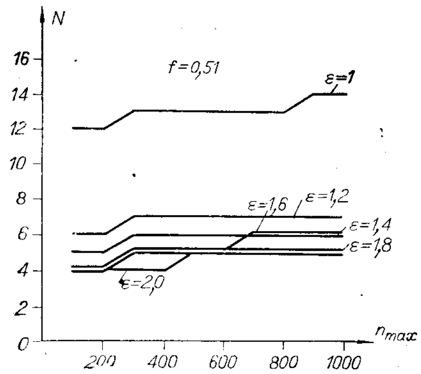

Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Хлистунов. Основы цифровой электроизмерительной техники и цифровые преобразователи. Л., «Энергия», 1966.
2. А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн, М. Г. Маркатун. Автокомпенсационные приборы экстремального типа. М., «Энергия», 1969.
3. Т. М. Алиев, А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн. Автоматические компенсационные устройства переменного тока. Баку, «Азернешр», 1965.
4. С. Н. Строкач. Принципы построения автоматических компенсаторов полярно-координатного типа.— В кн.: Автоматические и показывающие электроизмерительные приборы и новые материалы. М., ЦИНТИ, 1962.

Поступило в редакцию 28 февраля 1972 г.
окончательный вариант — 11 февраля 1974 г.