

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р. С. МЕКИНЯН

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ НА ПОКАЗАНИЯ
 АВТОМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Известно, что точность измерения, в основном, зависит от нелинейностей, имеющих в элементах прибора. В данной статье приводится анализ работы автокомпенсаторов, в частности, влияния нелинейностей на их показания. Исследовано влияние нелинейностей (типа зоны нечувствительности и ограничения скорости) на характер движения указателя прибора при синусоидальном входном сигнале. При этом не учитывается влияние линейной части прибора.

Наличие зоны нечувствительности в автокомпенсаторах в основном обусловлено инерционностью двигателя и трением в механической передаче. Ограничение же скорости движения указателя объясняется присутствием нелинейности типа "ограничения" в усилителе мощности, которая обусловлена использованием в следящей системе асинхронного двигателя.

Значение предельной скорости движения указателя (V_{max}) и зоны нечувствительности (δ) определяется по скоростным характеристикам¹ этих приборов.

Так как скорость движения указателя ограничена, можно сделать вывод, что, когда максимальная скорость изменения входного сигнала не превышает предельной скорости движения указателя, прибор успевает следить за входным сигналом. Максимальная скорость синусоидального сигнала определяется по уравнению

$$V_{max} = \max \dot{x}_{in} = \max A \omega \cos \omega t = A \omega, \quad (1)$$

Для приборов низкого и среднего быстродействия можно принять [1]

$$V_{max} = V_{ср} = E_2 / A \omega, \quad (2)$$

откуда

$$\omega = \frac{E_2}{A V_{ср}}, \quad (3)$$

где $V_{ср}$ — средняя скорость движения указателя, *мл/сек*; E_2 — диапазон

¹ Под скоростной характеристикой автоматических электронных приборов с отсчетным устройством подразумевается зависимость скорости движения указателя от величины входного сигнала, когда следящая система разомкнута.

измерения прибора, *мс*; $t_{\text{ш}}$ — время движения указателя по всей длине шкалы при стопроцентном ступенчатом входном сигнале, *сек*; A — амплитуда входного синусоидального сигнала, *мв*; $\omega_{\text{п}}$ — предельная частота входного сигнала, *рад/сек*.

Для обобщения принимаем $E_{\text{н}} = 100\%$, а амплитуда входного сигнала (A) берется в процентах от диапазона измерений. С учетом этого получим:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{100}{At_{\text{ш}}} \quad (4)$$

Когда частота входного сигнала превышает предельную ($\omega_{\text{п}}$), указатель прибора не успевает следовать за входным сигналом и кривая движения указателя приближается к треугольной форме, так как максимальная скорость изменения входного сигнала превышает предельную скорость перемещения указателя. В этом случае при некоторой частоте ($\omega_{\text{н}}$) высота треугольника зуба кривой движения указателя соответствует амплитуде синусоидального входного сигнала. Значение этой частоты определяют с учетом того, что за четверть периода синусоидального входного сигнала перемещение указателя по шкале должно соответствовать амплитуде измеряемого сигнала. Исходя из этого, будем иметь:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{E_{\text{н}}}{At_{\text{ш}}} \quad (5)$$

Если $E_{\text{н}}$ и A даны в процентах, то

$$\omega_{\text{н}} = \frac{50\pi}{At_{\text{ш}}} \quad (6)$$

В случае наличия зоны нечувствительности на выходе прибора получаются синусоидальные ($V_{\text{п.н}} < V_{\text{ср}}$) или треугольные ($V_{\text{п.н}} > V_{\text{ср}}$) коле-

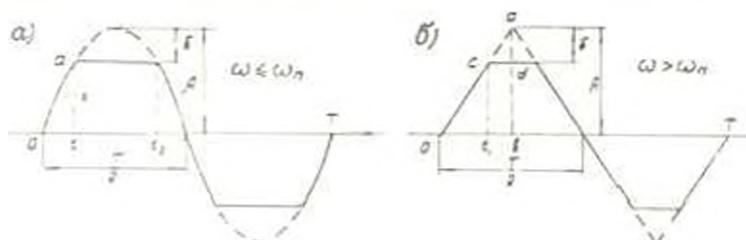


Рис. 1.

бания со срезанными верхушками с высотой полуцикла $a = A - \delta$ (рис. 1, а и б), так как коэффициент передачи прибора $K_{\text{пр}} = 1^*$. Здесь принято, что до частоты $\omega_{\text{н}}$ линейная часть прибора не влияет на характер движения указателя.

Из рис. 1, а видно, что, при значении выходного сигнала a ука-

* Шкала прибора градуирована по величине входного сигнала.

затель прибора, из-за наличия зоны нечувствительности, останавливается и остается неподвижной в течение времени $t_1 - t_0$, затем движется по синусоидальному закону. Таким образом, в момент времени t_1 показание прибора будет:

$$X_{\text{вых}}(t_1) = A - \delta. \quad (7)$$

До момента времени t_1 указатель прибора движется по синусоидальному закону, т. е., когда $t \leq t_1$, $X_{\text{вых}}(t) = X_{\text{вх}}(t)$. В момент времени t_1 имеем:

$$A - \delta = A \sin \pi t_1. \quad (8)$$

Отсюда следует, что

$$t_1 = \frac{T}{2\pi} \arcsin \left(1 - \frac{\delta}{A} \right). \quad (9)$$

Из рисунка 1, а видно, что время действия зоны нечувствительности равно:

$$t_{\text{ин}} = t_0 - t_1 \quad (\text{где } t_0 = T/2 - t_1),$$

следовательно,

$$t_{\text{ин}} = T/2 - 2t_1. \quad (10)$$

С учетом (9) уравнение (10) принимает вид

$$t_{\text{ин}} = \frac{T}{2} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \left(1 - \frac{\delta}{A} \right) \right]. \quad (11)$$

Для частоты ω_1 (рис. 1, б) время действия зоны нечувствительности будет:

$$t_{\text{ин}} = \frac{T}{A} \cdot \frac{\delta}{A}, \quad (12)$$

соответственно

$$t_1 = \frac{T}{4} \left(1 - \frac{\delta}{A} \right). \quad (13)$$

На рис. 2 и 3 даны зависимости относительного времени действия зоны нечувствительности от амплитуды входного синусоидального сигнала при различных значениях зоны нечувствительности*.

Имея величину зоны нечувствительности прибора, задаваясь величиной амплитуды входного синусоидального сигнала, по графикам (рис. 2 и 3) можно определить относительное время действия зоны нечувствительности ($t_{\text{ин}}/T$). Исходя из этого, можно определить величину времени действия зоны нечувствительности ($t_{\text{ин}}$) на периодический выходной сигнал для каждой частоты в отдельности, лежащей в допустимых пределах, определяемой формулами (4) и (6).

* Амплитуда входного синусоидального сигнала и зоны нечувствительности даны в процентах от диапазона измерений.

Для определения первой гармоники кривой изменения показания прибора (см. рис. 1, а и б) при синусоидальном входном воздействии необходимо подсчитать коэффициенты ряда Фурье (a_0 , a_1 и b_1).

В автоматических приборах с отсчетным устройством постоянная составляющая кривой изменения показания (a_0) в пределах класса точности прибора равна постоянной составляющей входного синусоидального возмущения, так как в этих приборах шкала проградуирована по величине входного сигнала.

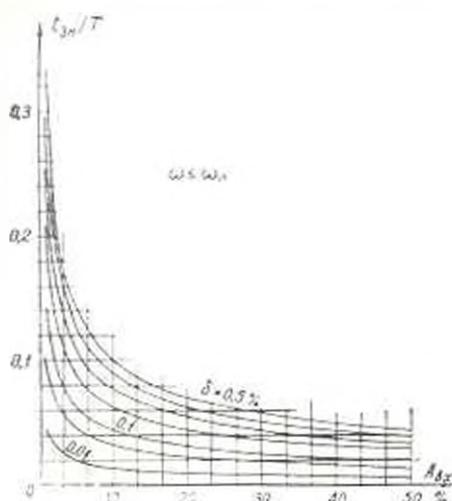


Рис. 2.

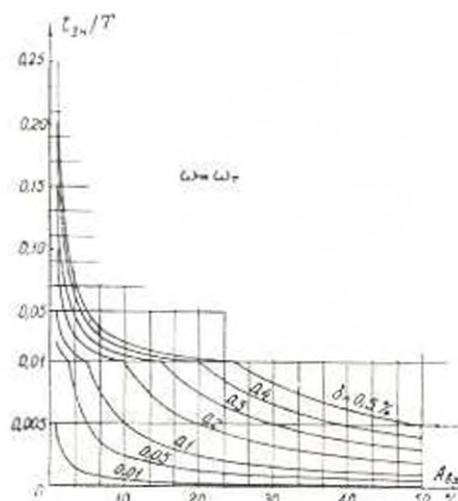


Рис. 3.

Из рис. 1, а и б видно, что приведенные зависимости однозначны, т. е. $a_1 = 0$. Соответственно до частоты ω , входного сигнала фазовый сдвиг между входом и выходом прибора равен нулю. В экспериментальных характеристиках фазовый сдвиг в этом диапазоне частот появляется за счет наличия запаздывания в системе и влияния его линейной части. Таким образом, определение амплитуды первой гармоники выходного сигнала прибора (кривой движения указателя) приводит к вычислению коэффициента $b_1 = A$.

Для случая, показанного на рис. 1, а, амплитуда первой гармоники выходного сигнала определяется по выражению:

$$A_1 = \frac{4}{T} \left| \int_0^{T/2-t_1} a \sin \omega t dt + \int_{T/2-t_1}^{T/2+t_1} A \sin^2 \omega t dt \right|. \quad (14)$$

Используя (9), при $a = A \frac{\delta}{A}$ будем иметь:

$$A_1 = \frac{2A}{\pi} \left| \left(1 - \frac{\delta}{A} \right) \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\delta}{A} \right)^2} + \arcsin \left(1 - \frac{\delta}{A} \right) \right|. \quad (15)$$

Для случая, показанного на рис. 1, б:

$$A_1 = \frac{4}{T} \left[\int_{t_1}^{T/2-t_1} a \sin \omega t dt + \int_{T/2-t_1}^{T/2+t_1} \frac{a(T/2-t)}{t_1} \sin \omega t dt \right] \quad (16)$$

Используя (13), при $a = A - \delta$ будем иметь:

$$A_1 = \frac{8A}{\pi^2} \sin \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\delta}{A} \right), \quad (17)$$

На рис. 4 приведена зависимость относительной амплитуды первой гармоники кривой движения указателя прибора ($A_1/A_{нх}$) от величины зоны нечувствительности при различных амплитудах входного синусоидального сигнала. Когда $\omega > \omega_n$, кривая движения указателя прибора приобретает форму трапеции, поэтому амплитуда первой гармоники увеличивается. При достижении частоты ω_n амплитуда первой

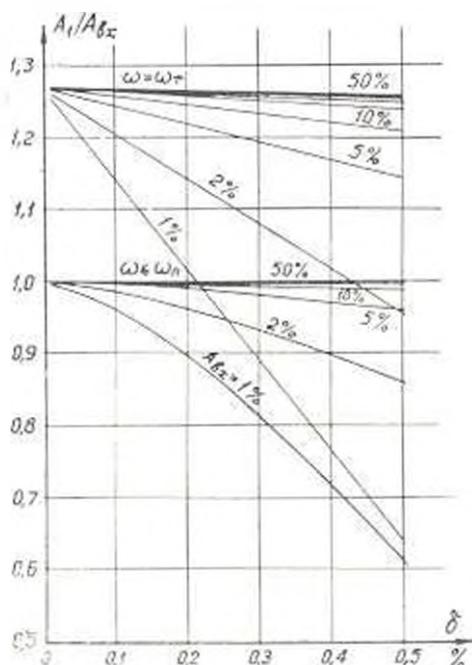


Рис. 4.

гармоники имеет максимальное значение. Когда $\omega > \omega_n$, кривая движения указателя может снова приблизиться к синусоиде, благодаря сглаживающему действию линейной части прибора. Значения амплитуды первой гармоники и характерные частоты, полученные по предлагаемой методике, проверены экспериментально. Опыты проведены на приборах типа КСП и ЭПП с $t_{ин} = 2,5$ сек и типа ПС и МС с $t_{ин} = 8,0$ сек [2, 3].

Таким образом, можно сделать следующее заключение. При больших амплитудах входного синусоидального сигнала ($A > 10^0 \delta$) полу-

ческие теоретические выводы достаточно хорошо согласуются с результатами эксперимента. При малых амплитудах входного сигнала ($A < 10^{10}$) значения частот ω_{II} и ω_{I} , вычисленные по формулам (4) и (6), получаются больше экспериментальных. Это объясняется тем, что в этих условиях торможение и разгон реверсивного двигателя оказывают влияние на скорость перемещения указателя прибора.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 27.X.1970.

Ռ. Ս. ՄԵԿԻՆՅԱՆ

ԱՎՏՈՄԱՏ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՉԱՄԱԿՇՈՂՆԵՐԻ ԶՈՒՅՄՈՒՆՔՆԵՐԻ ՎՐԱ
ՈՉ-ԿՍԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԿՈՒԹՅՈՒՆ

Ս. մ փ ո Վ ո լ մ

Հողփածում տրված են արտահայտություններ, որոնց միջոցով որոշվում է շափացույցի շարժման բնույթի վրա ազդող անդրաշնորհայն սահմանի տեղագրության համեմատական մեծությունը՝ կախված մուտքի զրգոման սինուսակերպ տատանման ամպլիտուդայից և հանախությունից: Այդ դեպքում հաշվի չի առնվում սարքի զծային մասի ազդեցությունը: Բերված են նաև հափա-սարումներ, որոնց միջոցով որոշվում է ավամատ համակցողների շափա-ցույցի շարժման կորի առաջին հարմոնիկայի ամպլիտուդան այն դեպքերի համար, երբ շափացույցը հասցնում է կամ չի հասցնում նետել մուտքի զր-պուման փոփոխմանը: Բերված են գրաֆիկներ նշված մեծությունների որոշման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кляндер М. С. Частотные характеристики электронного потенциометра. «Измерительная техника», № 2, 1964.
2. Бунин Н. П., Мекинян Р. С., Преображенский В. П. Динамические свойства электронного потенциометра КСП-4. Сб. «Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1968-69 г.г. Секция тепловычислительная, индикация-автоматизация производственных процессов», МЭИ, 1969.
3. Бунин Н. П., Мекинян Р. С., Преображенский В. П. Динамические свойства электронных потенциометров типа ПС и мостов типа МС. Сб. «Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966-67 г.г. Секция тепловычислительная, подсекция-автоматизация производственных процессов», МЭИ, 1967.