

Изобретение относится к технической диагностике и может найти применение при построении систем диагностирования работоспособности линейных систем управления.

Наиболее близким по технической сущности является устройство для контроля линейных динамических объектов, содержащее коррелятор, первый и второй выходы которого соединены, соответственно, с первым и вторым информационными входами первого блока записи и считывания, управляющий вход первого блока записи и считывания соединен с инверсным выходом первого счетного триггера, вход которого соединен с выходом генератора тактовых импульсов, первый выход первого блока записи и считывания соединен со входом первого преобразователя Фурье, второй выход первого блока записи и считывания соединен со входом второго преобразователя Фурье, выход первого преобразователя Фурье соединен с информационным входом первого коммутатора, первый и второй выходы второго преобразователя Фурье соединены с первым и вторым информационными входами второго коммутатора, соответственно, управляющий вход первого коммутатора и управляющий вход второго коммутатора соединены с выходом элемента ИЛИ, выход первого коммутатора соединен с первым входом первого блока сравнения, второй вход первого блока сравнения соединен с шиной задания числа нуль, выход второго коммутатора соединен со входом первого блока смены знака, первый и третий выходы первого блока сравнения соединены с синхронизирующим входом регистра памяти, информационный вход регистра памяти соединен с выходом первого коммутатора, выход регистра памяти соединен со входами делителя первого и второго функциональных блоков деления, вход делимого первого функционального блока деления соединен с выходом второго коммутатора, вход делимого второго функционального блока деления соединен с выходом первого блока смены знака, выход элемента ИЛИ соединен с единичным входом второго триггера с прямым динамическим входом, выход второго триггера с прямым динамическим входом соединен со входом блока задержки, выход блока задержки соединен со входом одновибратора, выход которого соединен с нулевым входом второго триггера с прямым динамическим входом и с управляющим входом второго блока записи и считывания, выходы первого и второго функциональных блоков деления соединены, соответственно, с первым и вторым информационным входом второго блока записи и считывания, выход счетчика соединен со вторым входом четвертого блока сравнения, первый вход четвертого блока сравнения соединен с шиной задания числа гармонических составляющих, первый выход четвертого блока сравнения соединен со вторым входом первого элемента И, выход первого элемента И соединен со вторым входом элемента ИЛИ, второй выход первого блока сравнения соединен с единичным входом третьего триггера, выход третьего триггера соединен с третьим входом элемента ИЛИ, второй выход первого блока сравнения также соединен с третьим входом блока индикации, второй выход четвертого блока сравнения соединен со вторым входом блока индикации, шина запуска устройства соединена со входом сброса счетчика, нулевым входом третьего триггера и первым входом элемента ИЛИ [2].

Недостатком устройства является то, что заранее нужно задать минимально допустимые значения $P_{\min}(\omega_1)$, $Q_{\min}(\omega_1)$ и максимально допустимые значения $P_{\max}(\omega_1)$, $Q_{\max}(\omega_1)$ вещественной и мнимой частотных характеристик объекта контроля для значений частот $\omega_1 \cdot l$ ($l = 0, K$).

Кроме того, данное устройство не позволяет непосредственно в процессе работы решить задачу определения устойчивости линейных систем.

Задача изобретения - обеспечить возможность определения устойчивости линейных систем управления непосредственно в ходе нормальной эксплуатации таких объектов.

Поставленная задача решается тем, что в устройство для определения устойчивости линейных систем управления, содержащее коррелятор, первый и второй выходы которого соединены, соответственно, с первым и вторым информационными входами первого блока записи и считывания, управляющий вход первого блока записи и считывания соединен с инверсным выходом первого счетного триггера, вход которого соединен с выходом генератора тактовых импульсов, первый вход первого блока записи и считывания соединен со входом первого преобразователя Фурье, второй выход первого блока записи и считывания соединен со входом второго преобразователя Фурье, выход первого преобразователя Фурье соединен с информационным входом первого коммутатора, первый и второй выходы второго преобразователя Фурье соединены с первым и вторым информационными входами второго коммутатора, соответственно, управляющий вход первого коммутатора и управляющий вход второго коммутатора соединены с выходом элемента ИЛИ, выход первого коммутатора соединен с первым входом первого блока сравнения, второй вход первого блока сравнения соединен с шиной задания числа нуль, выход второго коммутатора соединен со входом первого блока смены знака, первый и третий выходы первого блока сравнения соединены с синхронизирующим входом регистра памяти, информационный вход регистра памяти соединен с выходом первого коммутатора, выход регистра памяти соединен со входами делителя первого и второго функциональных блоков деления, вход делимого первого функционального блока деления соединен с выходом второго коммутатора, вход делимого второго функционального блока деления соединен с выходом первого блока смены знака, выход элемента ИЛИ соединен с единичным входом второго триггера с прямым динамическим входом, выход второго триггера с прямым динамическим входом соединен со входом блока задержки, выход блока задержки соединен со входом одновибратора, выход которого соединен с нулевым входом второго триггера с прямым динамическим входом и с управляющим входом второго блока записи и считывания, выходы первого и второго функциональных блоков деления соединены, соответственно, с первым и вторым информационным входом второго блока записи и считывания, выход счетчика соединен со вторым входом четвертого блока сравнения, первый вход четвертого блока сравнения соединен с шиной задания числа гармонических составляющих, первый выход четвертого блока сравнения соединен со вторым входом первого элемента И, выход первого элемента И соединен со вторым входом элемента ИЛИ, второй выход первого блока сравнения соединен с единичным входом третьего триггера, выход третьего триггера соединен с третьим входом элемента ИЛИ, второй выход первого блока сравнения также соединен с третьим входом блока индикации, второй выход четвертого блока сравнения соединен со вторым входом блока

индикации, шина запуска устройства соединена со входом сброса счетчика, нулевым входом третьего триггера и первым входом элемента ИЛИ, согласно изобретению, введены второй блок смены знака, два блока сравнения, два элемента И, при этом вход второго блока смены знака соединен с шиной задания числа один, выход второго блока смены знака соединен со вторым входом второго блока сравнения, первый вход которого соединен с первым выходом второго блока записи и считывания, второй выход второго блока записи и считывания соединен со вторым входом третьего блока сравнения, первый вход третьего блока сравнения соединен с шиной задания числа нуль, выходы третьего блока сравнения соединены со вторым входом третьего элемента И и с первым входом второго элемента И, второй вход второго элемента И соединен с первым выходом второго блока сравнения, второй выход второго блока сравнения соединен с первым входом третьего элемента И, выход третьего элемента И соединен с первым входом блока индикации, выход второго элемента И соединен с входом инвертора, выход которого соединен с первым входом первого элемента И, счетный вход счетчика соединен с выходом второго элемента И.

Введение этих блоков позволяет автоматически сравнивать динамические характеристики объекта диагностирования, полученные в ходе его нормальной эксплуатации, с критическими значениями, что существенно упрощает работу устройства.

На чертеже (фиг.) представлена функциональная схема предлагаемого устройства, где позиция 1 обозначает объект контроля (ОК).

Устройство содержит коррелятор 2, первый блок записи и считывания (БЗС) 3, первый счетный триггер 4, генератор тактовых импульсов 5, первый преобразователь Фурье 6, второй преобразователь Фурье 7, первый 8 и второй 9 коммутаторы, элемент ИЛИ 10, первый блок сравнения (БС) 11, первый блок смены знака (БСЗ) 12, регистр памяти 13, первый 14 и второй 15 функциональные блоки деления, второй триггер 16 с прямым динамическим входом, блок задержки (БЗ) 17, одновибратор 18, второй блок смены знака 19, второй блок записи и считывания 20, второй 21 и третий 22 блоки сравнения, второй элемент И 23, третий элемент И 24, первый элемент И 25, инвертор 26, счетчик 27, четвертый блок сравнения 28, блок индикации 29, третий триггер 30.

Вход объекта контроля 1 соединен с первым входом коррелятора 2, а выход - со вторым входом коррелятора 2, первый и второй выходы которого соединены с первым и вторым информационными входами первого блока записи и считывания 3, управляющий вход БЗС 3 соединен с инверсным выходом первого счетного триггера 4, вход которого соединен с выходом генератора тактовых импульсов 5. Первый выход первого БЗС 3 соединен со входом первого преобразователя Фурье 6. Второй выход первого БЗС 3 соединен со входом второго преобразователя Фурье 7. Выход первого преобразователя Фурье 6 соединен с информационным входом первого коммутатора 8, первый и второй выходы второго преобразователя Фурье 7 соединены с первым и вторым информационными входами второго коммутатора 9. Управляющие входы первого 8 и второго 9 коммутаторов соединены с выходом элемента ИЛИ 10. Выход первого коммутатора 8 соединен с первым входом первого БС 11, второй вход которого соединен с шиной задания нуля. Выход второго коммутатора 9 соединен со входом первого БСЗ 12. Первый и третий выходы первого БС 11 соединены с синхронизирующим входом регистра памяти 13, информационный вход которого соединен с выходом первого коммутатора 8, выход регистра памяти 13 соединен со входами делителя первого и второго функциональных блоков деления 14 и 15. На входы делимого функциональных блоков деления 14 и 15 поступают сигналы с выхода коммутатора 9 и блока смены знака 12 соответственно.

Выход элемента ИЛИ 10 соединен с прямым единичным динамическим входом второго триггера 16, выход которого соединен с входом БЗ 17. Выход БЗ 17 соединен со входом одновибратора 18, выход которого соединен с нулевым входом второго триггера 16 и с управляющим входом второго БЗС 20. Выходы первого и второго функциональных блоков деления 14, 15 соединены с первым и вторым информационными входами второго БЗС 20, соответственно. Вход второго БСЗ 19 соединен с шиной задания "1", а выход - со вторым входом второго БС 21, первый вход БС 21 соединен с первым выходом второго БЗС 20. Второй выход БЗС 20 соединен со вторым входом третьего БС 22, первый вход которого соединен с шиной задания нуля, а выходы третьего БС 22 соединены со вторым входом третьего элемента И 24 и первым входом второго элемента И 23. Второй вход второго элемента И 23 соединен с первым выходом второго БС 21, второй выход второго БС 21 соединен с первым входом третьего элемента И 24, выход которого соединен с первым входом блока индикации 29. Выход второго элемента И 23 соединен с входом инвертора 26 и счетным входом счетчика 27, выход инвертора 26 соединен с первым входом первого элемента И 25. Выход первого элемента И 25 соединен со вторым входом элемента ИЛИ 10. Вход сброса счетчика 27 соединен с первым входом элемента ИЛИ 10 и шиной запуска. Выход счетчика 27 соединен со вторым входом четвертого БС 28. Первый вход четвертого БС 28 соединен с шиной задания числа гармонических составляющих, а первый выход четвертого БС 28 соединен со вторым входом первого элемента И 25. Шина запуска устройства соединена с входом сброса счетчика 27, нулевым входом третьего триггера 30 и первым входом элемента ИЛИ 10. Второй выход четвертого БС 28 соединен со вторым входом блока индикации 29. Второй выход первого БС 11 соединен с третьим входом блока индикации 29 и единичным входом третьего триггера 30, выход третьего триггера 30 соединен с третьим входом элемента ИЛИ 10.

Блоки, входящие в устройство, являются стандартными и реализуются на основе известных схем (схемы функциональных блоков 14 и 15 приведены в [3]).

Устройство работает следующим образом.

Входной сигнал $X(t)$ с объекта контроля ОК 1 поступает на первый вход коррелятора 2, на второй вход которого поступает сигнал $Y(t)$ с выхода объекта контроля 1. Коррелятор 2 производит вычисления корреляционной функции входного $R_x(\tau)$ сигнала и взаимокорреляционной функции выходного и входного сигнала объекта контроля $R_{yx}(\tau)$. Значения $R_x(\tau)$ с первого выхода коррелятора 2 поступают на первый информационный вход первого БЗС 3, а значения $R_{yx}(\tau)$ со второго выхода коррелятора 2 поступают на второй информационный вход первого БЗС 3. Одновременно с началом поступления сигналов с выходов коррелятора 2 поступает сигнал с генератора тактовых импульсов 5, представляющего собой

мультивибратор, на вход первого счетного триггера 4, а с инверсного выхода первого счетного триггера 4 поступает на управляющий вход первого БЗС 3. Этот сигнал разрешает запись кодовых комбинаций сигналов $R_x(\tau)$ и $R_{yx}(\tau)$ с выходов коррелятора 2 в первый БЗС 3. Длительность процесса записи сигналов с коррелятора 2 определяется частотой импульсов, вырабатываемых генератором тактовых импульсов 5, и зависит от области применения устройства.

Так, при использовании предлагаемого устройства в телемеханических системах, таких как ТМ 310, ТМ - 320, частота импульсов вырабатываемых генератором тактовых импульсов 5, определяется по следующей формуле:

$$f = \frac{1}{2tn} = \frac{1}{2 \cdot 0,5} = 1 \text{ Гц},$$

где tn - длительность измерений. При использовании устройства в других системах, частоту следования импульсов можно изменить, что не оказывает принципиального влияния на работу устройства.

По истечении заданного времени tn первый счетный триггер 4 устанавливается в исходное состояние, т.е. сигнал с его инверсного выхода разрешает считывание записанных кодовых комбинаций $R_x(\tau)$ и $R_{yx}(\tau)$ в первый БЗС 3. Кодовые комбинации с первого выхода первого БЗС 3 поступают на вход первого преобразователя Фурье 6, а кодовые комбинации $R_{yx}(\tau)$ со второго выхода первого БЗС 3 поступают на вход второго преобразователя Фурье 7. Преобразователи Фурье 6 и 7 осуществляют разложение $R_x(\tau)$ и $R_{yx}(\tau)$ в

ряды Фурье с частотой первой гармоники $\omega_1 = \frac{\pi}{tn}$:

$$R_x(\tau) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^k a_i \cos \omega_1 \tau, \quad (1)$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{b_0}{2} + \sum_{i=1}^k b_i \cos \omega_1 \tau +$$

$$+ \sum_{i=1}^k c_i \sin \omega_1 \tau. \quad (2)$$

Подставим (1) и (2) в выражение (3), связывающее значения $R_{yx}(\tau)$ с $R_x(\tau)$ и динамической характеристикой линейного объекта контроля 1:

$$R_{yx}(\tau) = \int_0^{\infty} R_x(\tau - t)k(t)dt. \quad (3)$$

где $k(t)$ - импульсная переходная функция ОК1.

В результате подстановки получим:

$$\frac{b_0}{2} + \sum_{i=1}^k b_i \cos \omega_1 \tau + \sum_{i=1}^k c_i \cos \omega_1 \tau =$$

$$= \frac{a_0}{2} P(\omega) + \sum_{i=1}^k a_i [P(\omega_1) \cos \omega_1 \tau -$$

$$- Q(\omega_1) \sin \omega_1 \tau] \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что:

$$P(\omega) = \frac{b_0}{a_0}, \quad P(\omega_1) = \frac{b_i}{a_i}, \quad Q(\omega_1) = \frac{c_i}{a_i} \quad (5)$$

где $P(\omega_1)$ и $Q(\omega_1)$ - соответственно, значения вещественной и мнимой частотных характеристик ОК1 на частотах $\omega = \omega_1$ ($i = \overline{1, K}$), а $P(\omega)$ - значение вещественной частотной характеристики ОК1 на частоте $\omega = 0$ (отметим, что $Q(0) = 0$).

Сигналы, соответствующие коэффициентам разложения в ряд Фурье $R_x(\tau)$, d_i ($i = \overline{0, K}$) поступают на информационный вход первого коммутатора 8, а сигналы, соответствующие коэффициент разложения в ряд Фурье $R_{yx}(\tau)$, b_i и c_i ($i = \overline{0, K}$) ($c(0) = 0$), поступают на первый и второй информационные входы второго коммутатора 9, соответственно. В момент поступления сигналов с первого 6 и второго 7 преобразователей Фурье подается сигнал запуска на первый вход элемента ИЛИ 10 и на вход сброса счетчика 27, а также на нулевой вход третьего триггера 30. Сигнал с выхода элемента ИЛИ 10 разрешает прохождение коэффициентов a_i на первый вход первого БС 11 с выхода первого коммутатора 8 и прохождение коэффициентов b_i , c_i на вход делимого первого функционального блока деления 14 и вход блока смены знака 12, соответственно, с выхода коммутатора 9. Так как на второй вход первого БС 11 подается уровень логического нуля, то первый БС 11 осуществляет проверку коэффициентов на их равенство нуля. Если $a_i \neq 0$, то появится на первом или третьем выходах первого БС 11, который подается на синхронизирующий вход регистра памяти 13, на информационный вход которого подается сигнал с выхода первого коммутатора 8. При наличии сигнала на синхронизирующем входе регистра памяти 13 сигнал, соответствующий коэффициенту a_i разложения в ряд Фурье $R_x(\tau)$, подается на второй вход делителя функционального блока деления 14, на выходе которого получаем сигнал, соответствующий

$$P(l\omega_1) = \frac{b_l}{a_l}, \quad (l = \overline{0, K})$$

Сигнал, соответствующий коэффициенту c_l разложения в ряд Фурье $R_{yx}(\tau)$ через первый БСЗ 12, подается на вход делимого второго функционального блока деления 15, на вход делителя которого поступает сигнал, соответствующий коэффициенту a_l с выхода первого регистра памяти 13. На выходе второго функционального блока деления 15 получаем сигнал, соответствующий

$$Q(l\omega_1) = -\frac{c_l}{a_l}, \quad (l = \overline{0, K})$$

Значения $P(l\omega_1)$ и $Q(l\omega_1)$ поступают, соответственно, на первый и второй информационные входы второго БСЗ 20, где идет процесс их записи ($l = \overline{0, K}$) при поступлении сигнала на управляющий вход второго блока записи считывания БСЗ 20 с выхода одновибратора 18. Сигнал с выхода одновибратора 18 подается также на нулевой вход второго триггера с прямым динамическим входом 16.

Сигнал на единичный вход второго триггера 18 подается с выхода элемента ИЛИ 10. Сигнал с выхода второго триггера с прямым динамическим входом 16 подается на вход блока задержки 17, длительность задержки сигнала τ_3 в котором равна длительности выполнения операций $t_{\text{выч}}$, необходимых для получения значений $P(l\omega_1)$ и $Q(l\omega_1)$ (см. выражение 5). По истечении времени τ_3 одновибратор 18 вырабатывает импульс, разрешающий запись полученных значений $P(l\omega_1)$ и $Q(l\omega_1)$ во второй блок записи и считывания 20.

Для устойчивости систем управления необходимо одновременное выполнение условий, вытекающих из критерия Найквиста:

$$P(l\omega_1) > -1 \quad \text{при любом } Q(l\omega_1) \quad (6)$$

Невыполнение этих условий приводит к неустойчивости систем управления. При поступлении сигнала с одновибратора 18, подается с шины задания "1" сигнал на второй БСЗ 19, при этом на второй вход второго БСЗ 21 подается значение (-1) и на первый вход третьего БСЗ 22, соответственно, значение (0). На первый вход второго БСЗ 21 поступает сигнал с первого выхода второго БСЗ 20, соответствующий значениям $P(l\omega_1)$, получим с помощью соотношений (5), а на второй вход третьего БСЗ 22 поступает сигнал со второго выхода второго БСЗ 20, соответствующий значениям $Q(l\omega_1)$, также полученным с помощью (5). При выполнении

условий (6) появится сигнал на выходе второго элемента И 23 (для каждого $l = \overline{0, K}$). Для того, чтобы объект контроля 1 был признан устойчивым, необходимо, чтобы условие (6) выполнялось для всех гармонических составляющих рядов (1) и (2). Если объект контроля устойчив, то на выходе второго элемента И 23 появится сигнал $(K + 1)$ раз. Сигнал с выхода второго элемента И 23 поступает на счетный вход счетчика 27, в котором подсчитывается количество импульсов на выходе второго элемента И 23. Сигнал, соответствующий коду l ($l = \overline{0, K}$) со счетчика 27 подается на второй вход четвертого БСЗ 28, на первый вход которого подается код числа гармонических составляющих $l = K + 1$ рядов выражений (2) и (3). Если условие (6) выполняется для всех найденных и заранее записанных значений $P(l\omega_1)$ и $Q(l\omega_1)$, то появится сигнал на втором выходе четвертого блока сравнения 28, который подается на второй вход блока индикации 29, сигнализируя об устойчивости объекта контроля 1. Появление сигнала на этом входе блока индикации 29 является признаком окончания работы устройства.

Отметим, что короткий импульс с выхода второго элемента И 23 подается, кроме счетного входа счетчика 27, на вход инвертора 26, на выходе которого получается сигнал, соответствующий уровню логического нуля, который поступает на первый вход первого элемента И 25, на выходе которого установится уровень логического нуля, который поступит на второй вход элемента ИЛИ 10 и запретит считывание сигналов с коммутаторов 8 и 9. После того, как произойдет запись импульсов со второго элемента И 23 в счетчик 27, на вход инвертора 26 поступит сигнал, соответствующий уровню логического нуля, на выходе инвертора 26 появится сигнал, соответствующий уровню логической единицы. Если заданное число гармонических составляющих L меньше числа, подсчитанного в счетчике 27 и поступающего на второй вход четвертого БСЗ 28, то появится сигнал на первом выходе БСЗ 28, подающийся на второй вход первого элемента И 25. Сигнал с выхода первого элемента И 25, подается на второй вход элемента ИЛИ 10, разрешающий считывание сигналов с коммутаторов 8 и 9, и повторяется процесс проверки условия (6).

Таким образом, устройство работает потактно, число тактов работы определяется числом членов разложения $R_x(\tau)$ и $R_{yx}(\tau)$ в ряды Фурье и задается до начала работы устройства.

Если же условие (6) не выполняется, хотя бы для одной гармонической составляющей, то поступит сигнал со второго выхода второго БСЗ 21 на первый вход третьего элемента И 24, на второй вход третьего элемента И 24 поступит сигнал с выходов третьего БСЗ 22, с выхода третьего элемента И 24 сигнал поступает на первый вход блока индикации 29. Появление этого сигнала свидетельствует о неустойчивости объекта контроля 1 и является признаком окончания работы устройства.

Если же $a_l = 0$ ($l = \overline{0, K}$), то появится сигнал на втором выходе первого БСЗ 11, поступающий на третий вход блока индикации 29 и на единичный вход третьего триггера 30, сигнал с прямого выхода которого поступает на третий вход элемента ИЛИ 10 и запрещает подачу сигналов с коммутаторов 8 и 9 до тех пор, пока не поступит сигнал запуска устройства на нулевой вход третьего триггера 30. Отметим, что появление сигнала на третьем входе блока индикации 29 свидетельствует о невозможности диагностирования состояния объекта контроля 1 и является признаком окончания работы устройства. Отметим, что значение $a_l = 0$ приводит к разрыву АФЧХ объекта контроля 1, причем нельзя определить однозначно причины, приводящие к разрыву АФЧХ.

Следующий цикл проверки объекта контроля 1 производится после появления сигналов на одном из трех входов блока индикации 29, для чего подается сигнал запуска, сбрасывающий счетчик 27 и триггер 30 в исходное состояние. Момент подачи сигнала запуска должен быть согласован с длительностью импульса,

