

УДК 692.66:62-83

Семенюк В.Ф., д.т.н.; Бойко А.А., к.т.н.; Бойко Н.А.

*Одесский национальный политехнический университет***ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАКЕТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
УСТОЙЧИВОСТИ ЛИФТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Описана методика исследования устойчивости разомкнутой системы ТПН-АД лифтового электропривода. Рассмотрена возможность применения многофункционального математического программного пакета Maple для нахождения коэффициентов характеристического уравнения с целью расчета устойчивости лифтовых электромеханических систем.

Описано методику дослідження стійкості розімкненої системи ТПН-АД ліфтового електроприводу. Розглянуто можливість застосування багатofункціонального математичного програмного пакета Maple для знаходження коефіцієнтів характеристичного рівняння з метою розрахунку стійкості ліфтових електромеханічних систем.

A steadiness research methods of broken system TVC-IM of the lifts drive is described. An application possibility of Multifunctional mathematical software package Maple for finding of coefficients of characteristic equalisation with the purpose of lifts electromechanical systems stability research is considered.

Введение. В процессе экспериментальных исследований разомкнутой системы электропривода (ЭП) “Тиристорный преобразователь напряжения - асинхронный двигатель” подъемного механизма пассажирского лифта было определено, что в ряде режимов работы возникают негативные автоколебания выходных координат. Эти колебания приводят к неустойчивому режиму работы лифтовой электромеханической системы в целом и фактическому ограничению применения электропривода ТПН-АД [1]. Известно, что природа возникновения автоколебаний обусловлена наличием внутренней положительной обратной связи по углу сдвига между током погрузки и первой гармоникой выходного напряжения ТПН, что характерно для преобразователей с классической синхронизацией вентилей с напряжением сети [1,2]. Исследование устойчивости разомкнутого лифтового электропривода ТПН-АД может быть выполнено с применением программного пакета MAPLE компании Waterloo Maple Inc.

Материал и результаты исследования. Тиристорный преобразователь напряжения и звено внутренней обратной связи рассматриваются как усилительные звенья с коэффициентами передачи $K_{\text{тп}}$ и K_{ϕ} .

Выходное напряжение тиристорного преобразователя U_1 является функцией управляющего воздействия – угла включения тиристоров α и эквивалентной фазы тока статора ϕ_3 . В каждой точке U_1 рассчитываются по аппроксимирующей функции [3]:

$$U_1 = a_0 + a_1\alpha + a_2\alpha^2, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{где } a_0 &= -0,1291 + 0,06165 \cdot \phi - 7,2407 \cdot 10^{-4} \cdot \phi^2, \\ a_1 &= 0,02723 - 1,5212 \cdot 10^{-3} \phi + 2,038 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^2, \\ a_2 &= -2,1534 \cdot 10^{-4} + 8,2836 \cdot 10^{-6} \phi - 1,1941 \cdot 10^{-7} \phi^2. \end{aligned}$$

Эквивалентная фаза тока определяется по выражению

$$\phi = \arctg \frac{X_3}{R_3}, \quad (2)$$

где X_3 и R_3 – эквивалентные индуктивное и активное сопротивления Т – образной схемы замещения асинхронного двигателя (АД) [4].

$$X_3 = x_1 + x_0 - \frac{x_0(x_2' + x_0)}{(x_2' + x_0)^2 + \left(\frac{r_2'}{s}\right)^2}, R_3 = r_1 + \frac{x_0^2 \frac{r_2'}{s}}{(x_2' + x_0)^2 + \left(\frac{r_2'}{s}\right)^2} \quad (3)$$

Значения U_{1n} и ϕ_{3n} на текущем и на предыдущем шаге U_{1n-1} и ϕ_{3n-1} расчета дают возможность линеаризации «в малом» коэффициентов $K_{\text{тп}}$ и K_{ϕ} .

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1 &= U_{1n} - U_{1n-1}, \\ \Delta \phi_3 &= \phi_{3n} - \phi_{3n-1}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Тогда коэффициенты передачи $K_{\text{тп}}$ и K_{ϕ} определяются

$$K_{\text{тп}} \approx \frac{\Delta U_1}{\Delta \phi_3}, \quad (5)$$

$$K_{\phi} \approx \frac{\Delta \phi_3}{\Delta \omega}. \quad (6)$$

Исследование устойчивости разомкнутой системы лифтового электропривода ТПН-АД проводится в соответствии со структурной схемой, которая изображена на рис.1. Выходные сигналы всех звеньев имеют прямую зависимость от входных сигналов, а обратная связь – положительная [1].

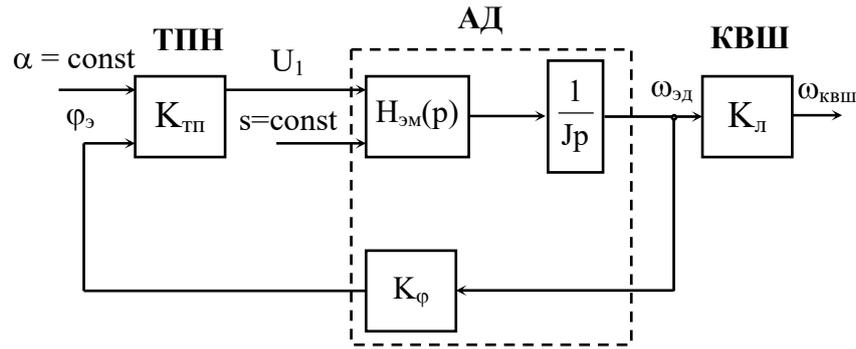


Рис. 1. Структурная схема разомкнутой системы ТПН-АД электропривода лифта

Звено, которое характеризует электромагнитную часть лифтового асинхронного двигателя $H_{ЭМ}(p)$ описывается на основании аналитического выражения. Это выражение определяет переходную составляющую электромагнитного момента АД, как реакцию на скачок входного напряжения при постоянной скорости АД. Выражение содержит три типовых составляющих [2]:

$$H_{ЭМ}(p) = \sum_{i=1}^3 M_i \tag{7}$$

где

$$M_1 = A_1 = const; \quad M_2 = A_2 e^{-\frac{1}{T_2}t};$$

$$M_3 = A_3 e^{-\frac{1}{T_3}t} \cos \Omega_3 t.$$

Амплитуды, постоянные времени и частоты колебаний зависят от параметров двигателя. Переход от временных зависимостей к передаточной функции звена осуществляется с помощью преобразования Лапласа [5].

$$H(p) = p \cdot L \{ h(t) \}, \tag{8}$$

где $L \{ h(t) \}$ - изображение переходной функции звена как суммы каждой из составляющей.

Передаточная функция звена, которое описывает электромагнитную часть АД имеет вид

$$H_{ЭМ}(p) = A_1 + \frac{A_2 T_2 p}{T_2 p + 1} + \frac{A_3 p^2 + \frac{A_3 p}{T_3}}{p^2 + \frac{2p}{T_3} + \left(\frac{1}{T_3^2} + \Omega_3^2 \right)}. \tag{9}$$

Передаточная функция разомкнутой системы электропривода

ТПН-АД без учета внутренней положительной обратной связи по углу ϕ имеет вид

$$H_p(p) = \frac{K_{\text{тп}} \cdot H_{\text{ЭМ}}(p)}{Jp}. \quad (10)$$

Передаточная функция системы с учетом положительной обратной связи

$$H_s(p) = \frac{H_p(p)}{1 - H_p(p) \cdot K_\phi}. \quad (11)$$

Из последнего может быть получено характеристическое уравнение

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0. \quad (12)$$

Анализ устойчивости разомкнутой системы лифтового электропривода ТПН-АД основывается на анализе характеристического уравнения с помощью алгебраического критерия.

Несмотря на возможность программной реализации алгоритма приведенной методики, остается серьезная проблема, связанная с предварительной подготовкой исходных данных - определения коэффициентов характеристического уравнения (9). В общем виде коэффициенты представляют собой, достаточно громоздкие алгебраические выражения, определение которых весьма трудоемко [2]. Это поясняется сложностью преобразования передаточной функции электромагнитной части асинхронного двигателя (6) к стандартному полиномиальному выражению. Решение этой проблемы может быть облегчено с помощью многооперационной математической программы MAPLE, Waterloo Maple. В частности, программа позволяет преобразовывать и упрощать полиномы практически любого вида и сложности. На рис. 2 показан пример преобразования коэффициентов характеристического уравнения для упрощенного случая, когда передаточная функция электромагнитной части АД состоит из трех составляющих.

В программе используются команды [6,7]:

`simplify (f(p))` - упрощение алгебраического выражения; `denom (f(p))` - отделение знаменателя выражения с целью дальнейшей работы с ним; `sort (f(t),p)` - сортировка (упорядочение) указанной переменной по степенному убыванию. Также, иногда оказывается полезным применение команды “`expand (f())`” - раскрыть скобки алгебраического выражения.

Аналогично приведенному примеру находятся выражения коэффициентов характеристического уравнения (9), которые в дальнейшем анализируются с целью определения устойчивости разомкнутой системы электропривода ТПН-АД в каждой точке механической характеристики лифтового двигателя.

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследования устойчивости лифтовых электроприводов с помощью программного комплекса MAPLE можно считать более достоверными, а дальнейшее использование информации более удобным, поскольку исключены механические ошибки при дальнейшем использовании в программном виде. Значительно уменьшаются затраты времени при расчете параметров комплексного характеристического уравнения.

2. Проведенные исследования позволяют утверждать, что наличие и вид автоколебаний разомкнутых лифтовых электроприводов "Тиристорный преобразователь напряжения - асинхронный двигатель" зависят: от параметров двигателей, текущей загрузки кабины, моментов инерций подъемных механизмов лифта, упругостей канатных передач, значений углов включения вентилей тиристорных преобразователей и начальных электромагнитных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриященко О.А., Бойко А.А. Исследование устойчивости разомкнутой системы электропривода ТПН-АД // Электромашинобуд. та електрообладн. Респ. міжвід. наук.-техн. зб. - 2000. - Вип. 54. - С.16-20.
2. Бойко А. А. Ограничение неустойчивых режимов работы лифтовых подъемных механизмов с электроприводом ТПН-АД // Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка». — Вып. 2 (42). — Одеса: ОНПУ, Підйомно-трансп. акад. наук України, 2014. — С. 36 — 45.
3. Андриященко, О. А. Исследование устойчивости разомкнутой системы электропривода ТПН-АД / О. А. Андриященко, А. А. Бойко // ЭПТТ. — Екатеринбург, 2007. — С. 127 — 131.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. Для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998. -704 с.
5. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
6. Дьяконов В. П. Maple 7 Учебный курс. — СПб.: «Питер», 2002. — С. 672.
7. Кирсанов М. Н. Maple и MapleT. Решения задач механики. — СПб.: Издательство "Лань", 2012