

4. Джуварлы Ч. М., Дмитриев Е. В., Гашимов А. М. Задачи математического моделирования в проблеме повышения надежности электрических сетей высокого напряжения // Изв. АН Азербайджана. – 1999. – № 6. – С. 128–133.

5. Дмитриев Е. В., Гашимов А. М., Ахмедов Х. М. Защита оборудования электрических подстанций от высокочастотных перенапряжений слабонелинейными резисторами // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1999. – № 6. – С. 32–39.

6. Руководящие указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110–500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения. – Киев, 1995. – С. 28.

7. Волков Е. А. Численные методы. – М.: Наука, 1987. – С. 238.

8. Ланс Дж. Н. Численные методы для быстродействующих вычислительных машин. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – С. 208.

9. Алгоритм расчета подхода тока короткого замыкания к нулю и восстанавливающихся напряжений между контактами выключателей / Ч. М. Джуварлы, Е. В. Дмитриев, А. М. Гашимов, С. А. Рустамов // Техническая электродинамика. – 1995. – № 3. – С. 62–66.

10. А. с. 1786972 А СССР. Распределительное устройство / К. М. Антипов, А. М. Гашимов, Ч. М. Джуварлы, Е. В. Дмитриев, В. М. Максимов, А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. – 1988.

11. Предотвращение феррорезонанса в распределительных устройствах 110–500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения, и предотвращение высокочастотных кумулятивных перенапряжений при включении ненагруженных шин выключателями / С. И. Гасанова, А. М. Гашимов, Е. В. Дмитриев, И. З. Пивчик // Проблемы энергетики. – 2002. – № 1–2. – С. 61–69.

Представлена лабораторией
физики и техники
высоких напряжений

Поступила 29.04.2003

УДК 681.511.4

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Канд. техн. наук, доц. ЛЕНЕВСКИЙ Г. С.,
асп. ОВСЯННИКОВ К. В.**

Могилевский государственный технический университет

При анализе широкого класса промышленных установок (буровые и подъемные установки, армирующие манипуляторы и т. д.), содержащих элементы с распределенными параметрами (тросы, канаты, штанги и другие упругие элементы), возникает необходимость получения математической модели установки с учетом зазора в соединительной муфте. Кроме этого, необходимо учитывать влияние упругого момента сопротивления в элементе с распределенными параметрами. Наличие нелинейности в модели, а также обратная связь по упругому моменту оказывают существенное

влияние на поведение объекта во временной области. Цель данной статьи – получить математическую модель механической части системы с распределенными параметрами. В качестве объекта исследования используется грузоподъемная установка БЦКБ (с бицилиндроконический коренной частью), установленная на предприятии «Беларуськалий» (г. Солигорск), высота подъема – 1000 м. Объект с распределенными параметрами – канат; вид деформаций – продольные.

Из [1, 2] известны передаточные функции.

Передаточная функция от усилия в верхнем сечении каната к перемещению в верхнем сечении

$$W_1(p) = \frac{p\mu_2 \operatorname{sh}(p) + \mu_k \operatorname{ch}(p)}{\operatorname{sh}(p)(\mu_1\mu_2 p^2 + \mu_k^2) + p\mu_k \operatorname{ch}(p)(\mu_1 + \mu_2)}. \quad (1)$$

Передаточная функция от усилия в верхнем сечении каната к перемещению в нижнем сечении

$$W_2(p) = \frac{\mu_k}{\operatorname{sh}(p)(\mu_1\mu_2 p^2 + \mu_k^2) + p\mu_k \operatorname{ch}(p)(\mu_1 + \mu_2)}, \quad (2)$$

где $\mu_1 = m_1/m_\Sigma - 1$ -я сосредоточенная масса (коренная часть, двигатель, вал, соединительная муфта), о. е.; $\mu_2 = m_2/m_\Sigma - 2$ -я сосредоточенная масса (скип, груз), о. е.; $\mu_k = m_k/m_\Sigma -$ масса каната, о. е.

На основании (1), (2) можно построить структурную схему (рис. 1). На рисунке видно, что модель представлена двумя ветвями. Верхняя ветвь – это передаточная функция от усилия в верхнем сечении каната к перемещению в верхнем сечении. Нижняя ветвь – передаточная функция от усилия в верхнем сечении каната к перемещению в нижнем сечении. При моделировании электрической части установки была использована стандартная система с контурами напряжения, тока и скорости (в установке применена система Г – Д с возбуждением генератора от тиристорного преобразователя). Численные параметры электрической части системы:

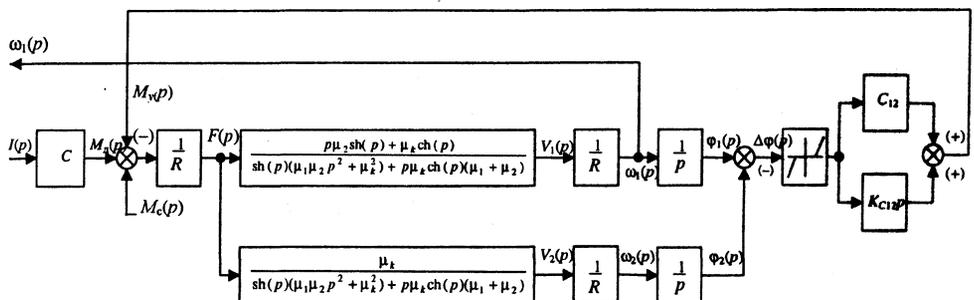


Рис. 1

$K_{тп} = 40$; $T_{тп} = 0,025$ с; $K_r = 5,5$; $T_r = 3$ с; $R_r = 0,0144$ Ом; $T_r = 0,05$ с; $K_{о.с.н} = 0,0083$; $K_{о.с.т} = 0,0011$ В/А; $K_{о.с.с} = 2,248$ В·с/рад. Численные параметры регуляторов: $K_n = 21,9$; $T_n = 3$ с; $K_T = 0,23$; $T_T = 0,5$; $K_c = 22$. Напряжение задания $U_3 = 8$ В, статический момент $M_c = 450000$ Н/м.

На рис. 1 использованы следующие обозначения: R ($R = 4$ м) – радиус коренной части подъемной машины; K_{C12} ($K_{C12} = 0,1$) – коэффициент внутреннего трения; C_{12} ($C_{12} = 1,2 \cdot 10^4$) – коэффициент жесткости; C ($C = 230,2$ В·с) – конструктивный коэффициент двигателя. Относительные массы $\mu_1 = 0,878$; $\mu_2 = 0,091$; $\mu_k = 0,029$. Зазор в соединительной муфте описывается как нелинейность вида «нечувствительность». Параметры данного звена: $C = 0,05$; $K = 1$.

Путем предельного перехода найдем систему с сосредоточенными параметрами, соответствующую структурной схеме (рис. 1).

При отношениях масс $\mu_1 \rightarrow 1$; $\mu_2 \rightarrow 0$, что соответствует отсутствию в системе звена с распределенными параметрами и массы объекта управления, а также учета, что:

$$\text{sh}(p) \rightarrow p;$$

$$\text{ch}(p) \rightarrow 1;$$

$$C_{12} \rightarrow \infty,$$

можно записать следующее преобразование для передаточной функции (1):

$$\begin{aligned} \frac{p\mu_2\text{sh}(p) + \mu_k\text{ch}(p)}{\text{sh}(p)(\mu_1\mu_2p^2 + \mu_k^2) + p\mu_k\text{ch}(p)(\mu_1 + \mu_2)} &\Rightarrow \frac{p \cdot 0p + \mu_k \cdot 1}{p(1 \cdot 0p^2 + \mu_k^2) + p\mu_k \cdot 1(1+0)} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{\mu_k}{p\mu_k^2 + p\mu_k} \Rightarrow \frac{1}{p(\mu_k + 1)}. \end{aligned}$$

У одномассовой системы отсутствует упругий элемент, следовательно, можно принять $\mu_k = 0$. Тогда передаточная функция (1) путем предельного перехода принимает вид $1/p$. Очевидно, что передаточная функция (2) преобразуется к такому же виду. Следовательно, $\omega_1 = \omega_2$, а $\Delta\varphi = 0$, т. е. обратная связь по упругому моменту вырождается. Полученная структурная схема принимает вид одномассовой структурной схемы без упругой связи, что подтверждает правильность построения исходной структурной схемы.

Для подъемной установки БЦКБ был смоделирован пуск (моделирование системы производилось в среде Matlab 6.1, Simulink 4.1). При моделировании использовался метод Рунге–Кутты 4-го порядка с постоянным шагом интегрирования. На рис. 2 представлены графики переходных процессов линейных скоростей движения на коренной части установки и на скипе, а также на рис. 3 – график переходного процесса упругого момента сопротивления.

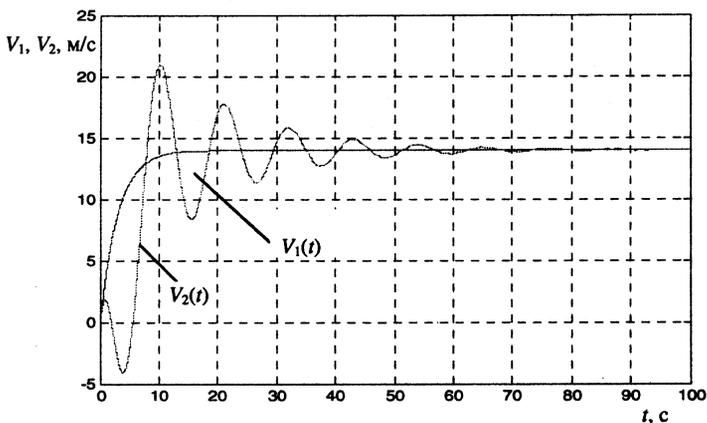


Рис. 2

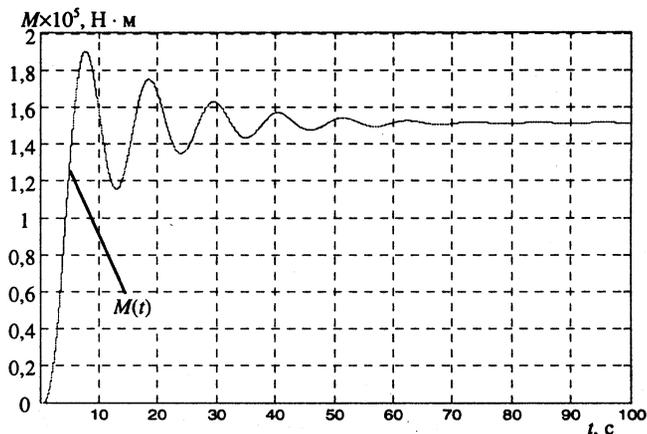


Рис. 3

ВЫВОДЫ

1. Получена новая модель механической части системы с распределенными параметрами. Путем предельного перехода показана адекватность одномассовой структурной схеме. Структурная модель была обчислена на ЭВМ, получены численные данные для реально действующей установки, косвенно подтвержденные экспериментальными данными.

2. Для предлагаемой модели путем предельного перехода показана сходимость к одномассовой модели механической части электропривода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев Н. В., Мядзель В. Н., Рассудов Л. Н. Электроприводы с распределенными параметрами. – Л.: Судостроение, 1985. – 220 с.
2. Католиков В. Е., Динкель А. Д. Динамические режимы рудничного подъема. – М.: Недра, 1995. – 448 с.
3. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. – Л.: Энергия, 1979. – 316 с.
4. Егоров В. Н., Шестаков В. М. Динамика систем электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с.

Представлена кафедрой
электропривода и АПУ

Поступила 28.01.2003