

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.Т. Вишнеревский, Г.С. Ленецкий

В статье рассматривается возможность использования математического описания линейных элементов с распределенной массой и упругостью для построения замкнутых систем управления электроприводами, содержащими в своей механической части указанные элементы. Также рассматриваются вопросы применения логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) элементов с распределенными параметрами для анализа и синтеза систем управления электроприводами

Ключевые слова: электропривод, распределенные параметры, логарифмические амплитудно-частотные характеристики, системы управления электроприводами

1. Актуальность проводимых исследований

В настоящее время существует множество нерешенных вопросов в области синтеза систем управления электроприводами промышленных установок, в механической части которых содержатся элементы, обладающие большой протяженностью. В связи с ускорением темпов добычи полезных ископаемых, залегающих на больших глубинах, возникла необходимость в создании грузоподъемных установок (ГПУ), обеспечивающих их быстрое извлечение на поверхность. Также существует необходимость создания оборудования, предназначенного для бурения скважин различного назначения, глубина которых постоянно возрастает.

Проблемы, возникающие при синтезе электроприводов указанных установок, связаны с ограничениями, накладываемыми на величину допустимого ускорения при подъеме. Данные ограничения вызваны возможностью обрыва тросов подъемного устройства [1].

Использование в системах управления электроприводом устройств, формирующих плавный пуск, снижает производительность подъемных установок за счет увеличения продолжительности режимов пуска и торможения. В связи с этим необходимо создать системы управления электроприводами, в которых будут использоваться более совершенные методы формирования рабочего цикла установки. Необходимо найти способы формирования процессов пуска и торможения, которые будут обеспечивать достаточно малое время переходного процесса одновременно с подавлением колебательных явлений в элементах механической части подъемных установок. Также разрабатываемые системы управления должны обеспечивать стабилизацию скорости движения рабочего органа установки во время подъема.

2. Математическое описание элементов с распределенными параметрами.

Для проведения исследования промышленных установок, содержащих кинематические элементы большой протяженности, в качестве распределенных во внимание принимаются такие параметры как масса и упругость.

Распределенные параметры в том или ином виде содержат все реально существующие системы, однако их учет не всегда является целесообразным. Поскольку для целей проводимого исследования необходимо получить точное математическое описание протяженных элементов, необходимо учесть все значения резонансных частот в рабочем диапазоне. Данный диапазон определяется полосой пропускания электропривода исследуемой установки.

Для того чтобы получить абсолютно точное математическое описание указанных элементов, необходимо учитывать бесконечное число резонансных частот; а затем ограничиваться определенным их количеством, в зависимости от требуемой точности.

В связи с данным обстоятельством возникает необходимость в использовании в математическом описании огромного числа дифференциальных уравнений, каждое из которых будет описывать парциальный осциллятор, на которые разбит упругий элемент большой протяженности. Однако для упрощения расчетов и моделирования наиболее целесообразным является осуществить предельный переход к системе с распределенными параметрами. В этом случае исследуемый элемент будет описан небольшим количеством уравнений в частных производных по времени и пространственной координате. При этом массы сосредоточенных осцилляторов объединятся в одну распределенную по длине массу элемента, а сосредоточенные упругости после преобразования можно считать распределенной по длине элемента упругостью [2].

При рассмотрении кинематической схемы подъемных установок можно выделить линейный элемент с распределенной упругостью [3]. Данный элемент считается линейным, поскольку состоит только из одной упругой ветви с закрепленными на ее концах массами. В данном случае первой массой является масса приводного механизма, а второй массой – масса грузозахватывающего устройства. При рассмотрении скиповых подъемников можно пренебречь влиянием незагруженного скипа на динамику всей системы ввиду его небольшой массы. Также при моделировании пусковых режимов подъемной установки можно считать элемент с распределенной упругостью условно неподвижным, поскольку за время переходного процесса при пуске длина данного элемента изменяется незначительно. Следовательно, при условно постоянных параметрах механической части сохраняются значения резонансных частот системы.

Для построения ЛАЧХ исследуемого элемента используется его передаточная функция от изображения по Лапласу движущего усилия к скорости. Для получения требуемой передаточной функции проводится процесс идентификации элемента с распределенной упругостью.

Под идентификацией понимается задача определения по экспериментальным данным набора параметров математической модели рассматриваемой электромеханической системы, при котором в пределах рассматриваемого диапазона изменения входного воздействия выходные параметры модели будут с допустимой погрешностью соответствовать параметрам самой системы. Обязательным условием является то, что входные воздействия для электромеханической системы и ее модели являются одинаковыми.

Идентифицируемыми параметрами системы являются постоянные или переменные величины, а также функции, в явном виде входящие в математическую модель.

При идентификации предполагается, что электроприводы имеют ограниченную полосу пропускания, и механические элементы с распределенными параметрами представляются в виде той или иной совокупности моделей элементов с сосредоточенными параметрами. При этом, как правило, не учитываются локальные пространственные

переменные. Среда, из которой состоит элемент с распределенными параметрами, считается условно однородной [3].

После решения краевой задачи [3] получены передаточные функции объекта управления от изображения движущего усилия к скорости в любом сечении элемента с распределенными параметрами:

$$W(\xi, p) = \frac{\Delta v(\xi, p)}{\Delta \varphi(p)} = (p\mu_2 ch(p\xi)sh(p) + \mu_k ch(p\xi)ch(p) - p\mu_2 sh(p\xi)ch(p) -$$
(1)

$$-\mu_k sh(p\xi)sh(p)) / (\mu_1\mu_2 p^2 sh(p) + \mu_1\mu_k p \cdot ch(p) + \mu_2\mu_k p \cdot ch(p) + \mu_k^2 sh(p)),$$

где ξ - отношение расстояния, на котором находится сечение x , к длине пружины. μ_1, μ_2, μ_k - отношения первой массы, второй массы и массы каната к суммарной массе соответственно.

При выводе передаточной функции перед преобразованием по Лапласу производится переход к относительным единицам. Временная координата также масштабируется в соответствии с параметрами исследуемого элемента [4]. Следовательно необходимо нормировать аргумент p передаточной функции умножив его на коэффициент $k = l/a$, где a - скорость распространения волны продольной деформации в упругом элементе.

При условии, что канат считается условно-однородным, величина скорости распространения волны может быть найдена по следующей формуле:

$$a = \sqrt{\frac{E \cdot s}{\rho}},$$
(2)

где E - модуль упругости, ρ - масса единицы длины стержня, s - площадь поперечного сечения стержня.

При проведении исследования устанавливается соотношение масс, закрепленных на концах объекта с распределенными параметрами, $m_1:m_2=4:1$. Масса каната принимается равной 0,02 от суммарной массы элемента с распределенными параметрами.

3. Типовые логарифмические амплитудно-частотные характеристики.

Для передаточной функции (1) численными методами строятся необходимые логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ).

В данной статье для примера на рисунках 1 и 2 представлены ЛАЧХ при значении пространственной координаты $\xi = 0$ и $\xi = 1$ соответственно.

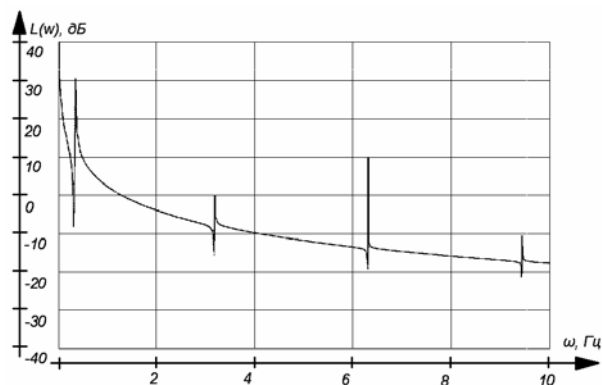


Рис. 1 - ЛАЧХ элемента при $\xi = 0$

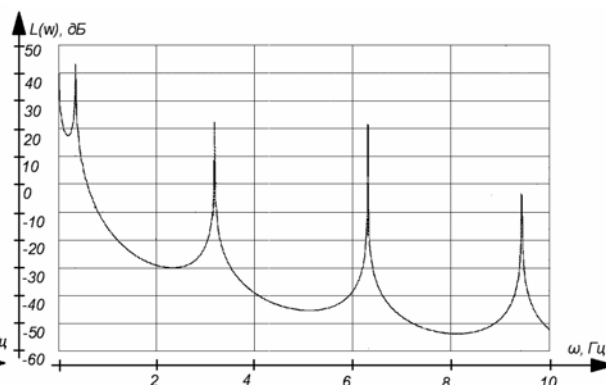


Рис. 2 - ЛАЧХ элемента при $\xi = 1$

Как видно из рисунков 1 и 2, ЛАЧХ элементов с распределенными параметрами имеют несколько резонансных частот в рабочем диапазоне. При прохождении изменяющейся частоты входного воздействия через частоты резонансов в значительной степени возрастает амплитуда колебаний составных частей установки, что может привести к повреждениям или выходу ее из строя.

Реальные системы, содержащие указанные элементы, являются, как правило, слабодемпфированными. Полюса исходной передаточной функции, описывающей линейный элемент с распределенными параметрами, лежат на мнимой оси, что свидетельствует о наличии незатухающих колебаний при исследовании реакции элемента на ступенчатое входное воздействие во временной области [5]. При необходимости демпфирования в идентифицируемых элементах можно учесть на стадии аппроксимации трансцендентных передаточных функций [6].

4. Применение логарифмических амплитудно-частотных характеристик.

В настоящее время исследования в области создания систем управления электроприводами установок, содержащих элементы с распределенными параметрами, направлены на поиск возможностей создания таких способов управления, которые помогут понизить колебательность элементов установок без снижения их производительности. В связи с данным обстоятельством для проведения исследования и синтеза систем управления необходимо точное математическое описание элементов исследуемой установки, дающее наиболее полное представление о резонансных явлениях в указанных элементах.

В качестве перспективного на данный момент рассматривается метод управления, заключающийся в применении полосно-заграждающих фильтров для входного воздействия на объект управления. Данные фильтры будут отсекалть те диапазоны частот входного воздействия, которые находятся вблизи резонансных частот объекта управления.

Применение данного метода возможно после экспериментального либо расчетного получения ЛАЧХ объекта управления. После получения резонансных частот объекта строится полосно-заграждающий фильтр на аналоговой или цифровой элементной базе в зависимости от функциональной схемы системы управления электроприводом. В будущем данный метод управления будет положен в основу принципа работы систем управления электроприводами, которые будут соответствовать новым требованиям к производительности, надежности и безопасности эксплуатации.

Литература

1. *Католиков В.Е.* Тиристорный электропривод с реверсом возбуждения двигателя рудничного подъема / В.Е. Католиков, А.Д. Динкель, А.М. Седуниев. – М.: Недра, 1990. – 381 с. : ил.
2. *Мандельштам Л.И.* Лекции по теории колебаний / Л.И. Мандельштам, - М.: Наука, 1972. – 470 с.
3. *Рассудов Л.Н.* Электроприводы с распределенными параметрами электромеханических элементов / Л.Н. Рассудов, В.Н. Мяздель. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1987. - 144 с
4. *Филлипс Ч.* Системы управления с обратной связью / Филлипс Ч., Харбор Р. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.: ил.
5. *Анхимюк В.Л.* Теория автоматического управления / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко, Н.Н. Михеев, - Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352с.: ил.
6. *Вишнеревский В.Т.* Аппроксимация передаточных функций звеньев электромеханических систем с распределенными параметрами. // Ползуновский вестник №2/1, 2011. С. 57-61.