

Внедрением счетчиков на 100 лифтах можно позволить получить экономию до 1,5 млн.рублей в год, что соответствует по стоимости внедрению одной новой лифтовой установки или проведению модернизации от 5 до 10 старых лифтов в зависимости от типа выполняемых работ.

Экономия потребления электроэнергии ещё на 10-20% (цифра подлежит исследованиям) может быть достигнута при установке двунаправленных счетчиков активной энергии.

Следует заметить, что, так как тарифы ЖКХ растут более интенсивно по сравнению со стоимостью 1 Квтч электроэнергии, то прибыль, которую можно направить на модернизацию лифтов, в дальнейшем будет возрастать.

Применение РБ в лифтовых установках позволит получить ещё большую экономию электроэнергии, однако пока эта технология широко не применяется, поскольку такие системы находятся в разработке.

Частотные преобразователи с распределяющей (общей) шиной постоянного тока (рис.2) при параллельном соединении лифтовых систем и одним РБ в перспективе позволит достичь высокого к.п.д. лифтовых установок.

Исходя из вышесказанного, рекомендуется на 1 этапе внедрения энергосберегающих технологий при эксплуатации лифтов:

- устанавливать индивидуальный двунаправленный счетчик электроэнергии для лифтового хозяйства многоквартирного дома;
- при установке и монтаже новых лифтов применять матричные преобразователи частоты;
- при модернизации электроприводов главного движения лифтов использовать рекуперативные блоки;
- средства, полученные от экономии электроэнергии, направить на модернизацию лифтового оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин В.И. Основные направления повышения технического уровня двигателей для привода лифтов. Подъёмные сооружения. Специальная техника. – №4/2004. – с. 38–39.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов.– М.: Академия, 2006. – 272 с.
3. Архангельский Г.Г. Современные тенденции и совершенствование конструкции лифтового оборудования. – М.: Изд-во МГСУ, 2006.
4. Марков А.М., Маркова Т.А. Современные и перспективные конструкции электрических и гидравлических лифтов. Труды ППИ / Псков: Изд-во ППИ, 2008. – №11.3. – с. 254–258.
5. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе.– СПб.: КОРОНА – Век, 2006.– 336 с.
6. Невинная И. Коммунальная обдираловка. «Российская газета». – №62 от 09.04.2009 г.
7. Колесников А.И., Федоров М.Н., Варфоломеев Ю.М. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях.– М.:ИНФРА-М, 2008. – 124 с.
8. Тишин В.А. Кому нужны электросчетчики на лифтах? – Лифтинформ. – №8, 2007. – с. 30–31.

*А.И. ХИТРОВ, И.М. ФЕДОТОВ, А.А. ХИТРОВ*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ И ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Приводится структура, состав экспериментального стенда и результаты исследований по определению параметров электродвигателей при управлении от современных частотно-регулируемых электроприводов.

Повышение уровня требований к показателям качества регулирования выходных переменных (момента, скорости, положения) современных электроприводов (ЭП),

решение задачи энергосбережения при их применении, обеспечивает актуальность задачи создания математических моделей для компьютерного моделирования режимов работы ЭП различных производственных механизмов, а также экспериментальных стендов для натурных испытаний с целью подтверждения результатов моделирования.

Компьютерные имитационные модели исследований режимов работы электродвигателей (ЭД) современных ЭП с преобразователями частоты (ПЧ) в настоящее время строятся в основном с использованием современных версий программы MatLab фирмы Math Works (USA) с приложениями Simulink и Sim Power Systems (MSS) [1].

Проверка адекватности математических моделей после имитационного моделирования реальному объекту обычно проводится на экспериментальных стендах или в реальных промышленных условиях.

На кафедре электропривода и систем автоматизации (ЭСА) ППИ проводятся работы по созданию экспериментального стенда для исследования режимов работы современных частотно-регулируемых электроприводов при управлении асинхронными двигателями – АМ (Asynchronous Machine) и вентильными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов – PMSM (Permanent Magnet Synchronous Machine).

Цель – создание универсального стенда для исследования динамических режимов работы и показателей энергетической эффективности (к.п.д., коэффициент мощности, коэффициент искажений и др.) современных частотно-регулируемых ЭП при разнообразных принципах реализации системы управления (скалярного, векторного с ШИМ – FOC, прямого управления моментом – DTC).

На рис. 1 представлена схема экспериментального стенда.

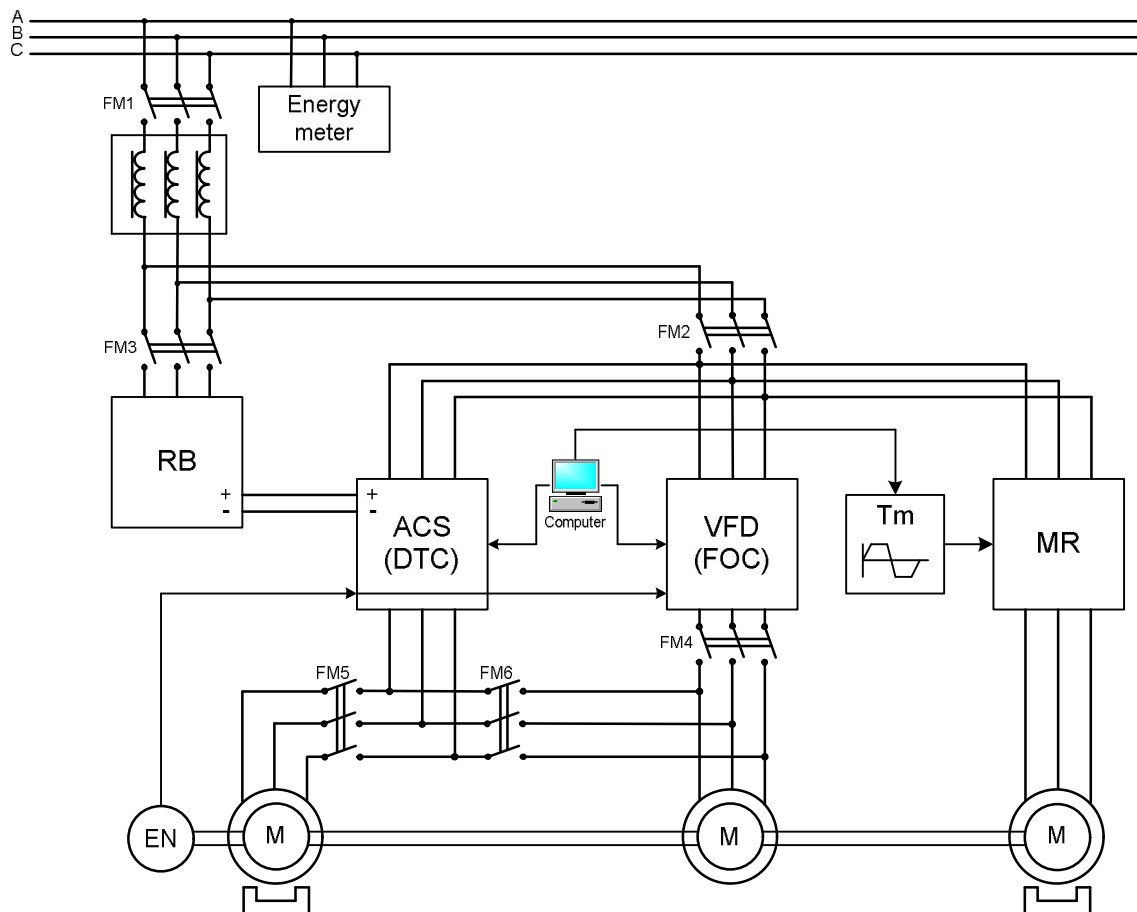


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Стенд должен позволять исследовать энергосберегающие ЭП различных фирм с рекуперативными блоками или с использованием активных выпрямителей (AFE) и матричных преобразователей для вентильных двигателей с постоянными магнитами

(ВДПМ) и вентильных реактивных двигателей (SRM). Такой стенд позволит определять параметры ЭД, регистрировать и исследовать динамические режимы ЭП различных фирм.

Основными элементами экспериментального стенда являются ПЧ (ACS – фирма ABB (Финляндия), VFD- фирма Delta Electronics (Ю. Корея), MR – ЗАО «Электротехнические системы» (Россия)) и рекуперативный блок (RB – ООО «ЧАЭЗ-ЭЛПРИ» (Россия)).

ПЧ ACS может управлять и АМи PMSM, обеспечивая DTC-управление. Преобразователь VFD обеспечивает векторное управление только АМ, а также может использоваться в режиме нагрузочной машины.

Рекуперативный блок (RB) подключается к звену постоянного тока преобразователя ACS и работает в режиме конвертера. Буфером между сетью и конвертером является электромагнитный дроссель (5 мГн).

Контроль потока активной энергии в двигательном и генераторном режиме работы ЭД осуществляется двунаправленным счетчиком активной энергии (Energymeter).

При проведении имитационного моделирования процессов в MSS для расчета динамических характеристик с требуемой точностью необходимо знание параметров исследуемого ЭД. Развернутые параметры схемы замещения для отечественных АД имеются только для серии 4А [3].

Многие фирмы, производящие ЭД, не предоставляют перечень необходимых сведений об их параметрах в своих каталогах, а производители ПЧ могут приводить в своих каталогах сведения рекламного, а не технического характера [2].

Однако у современных моделей ПЧ имеются функции автоматического их нахождения в режиме автотестирования. Тем не менее, по разным причинам автонастройка может дать различные результаты (холостой ход, нагрузка, температура обмоток, заложенные в программное обеспечение алгоритмы идентификации и др.). В таблицах 1-3 представлены результаты проведенных расчетов по методикам, рассмотренным в [4-8], а также результаты автоопределения параметров с использованием встроенных программно-аппаратных средств для двух АД (АИР80А2 и 4АХ80В2) с ПЧ ACS и VFD.

Таблица 1

*Результаты расчёта и автоопределения параметров АД  
АИР80А2 (новый, мощность 1,5 КВт).*

| Методика расчета                           | $R_s$<br>(Ом) | $R_r$<br>(Ом) | $L_m$<br>(мГн) | $L_{\sigma s}$<br>(мГн) | $L_{\sigma r}$<br>(мГн) | $L_{\sigma s} =$<br>$L_{\sigma r}$<br>(мГн) |
|--|---------------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---|
| По параметрам<br>схемы замещения [4]       | 5,49          | 3,14          | 531            | 11                      | 17                      | ----  |
| По данным каталога [5]                     | 4,06          | 2,65          | 599            | 17                      | 23                      | ----  |
| По данным каталога [6]                     | 4,6           | 3,13          | 510            | ---                     | ---                     | 24,9  |
| По данным каталога [7]                     | 0,54          | 1,88          | 455            | ---                     | ---                     | 20,1  |
| Результаты<br>Автоопределения<br>ПЧ VFD-VE | 9,71          | 8,22          | 691            | ---                     | ---                     | 96  |
| Результаты<br>Автоопределения<br>ПЧ ACSM1  | 4,13          | 1,87          | 400            | ---                     | ---                     | 38  |

Таблица 2

Результаты расчёта и автоопределения параметров АД 4АХ80В2 (длительная эксплуатация, после ремонта, каталожная мощность 1,1 КВт)

| Методика расчета                           | $R_s$<br>(Ом) | $R_r$<br>(Ом) | $L_m$<br>(мГн) | $L_{\sigma s}$<br>(мГн) | $L_{\sigma r}$<br>(мГн) | $L_{\sigma s} =$<br>$L_{\sigma r}$<br>(мГн) |
|--|---------------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---|
| По параметрам<br>схемы замещения [4]       | 11,35         | 5,92          | 793            | 15                      | 23                      | -----                                       |
| По данным<br>каталога [5]                  | 6,32          | 4,1           | 775            | 10                      | 13                      | ----  |
| По данным<br>каталога [6]                  | 9,7           | 4,98          | 494            | ---                     | ---                     | 12  |
| По данным<br>каталога [7]                  | 1,37          | 2,44          | 587            | ---                     | ---                     | 26,5  |
| Результаты<br>Автоопределения<br>ПЧ VFD-VE | 15,23         | 7,24          | 935            | ---                     | ---                     | 88  |
| Результаты<br>Автоопределения<br>ПЧ ACSM1  | 6,77          | 3,14          | 524            | ---                     | ---                     | 35  |

Таблица 3

Расчётные данные АД типа 4А80А4 мощностью 1,1 КВт [8]

| Асинхронный<br>двигатель | $R_s$<br>(Ом) | $R_r$<br>(Ом) | $L_m$<br>(мГн) | $L_{\sigma s}$<br>(мГн) | $L_{\sigma r}$<br>(мГн) |
|--------------------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| 4А80А4                   | 9,53          | 5,62          | 447            | 37                      | 29                      |

Анализ расчётных и экспериментальных данных показывает, что при определении параметров ЭД результаты автотестирования могут отличаться друг от друга, а методики оценки параметров ЭД могут дать различные результаты и погрешности, кроме того характер электромагнитных процессов в ЭД зависит не только от параметров номинального режима, но и от уровня скорости вращения ЭД.

Поэтому до начала процедур моделирования в MSS необходимо уточнить параметры АД на экспериментальном стенде, сопоставляя результаты автотестирования по программе ПЧ и теоретических расчетов по выбранной методике.

Модель, удовлетворяющая критериям адекватности, может использоваться для исследования режимов работы ЭП и большей мощности.

Следует заметить, что экспериментальный стенд оснащается ЭМП небольшой мощности, но исследовать и определять параметры ЭМП можно и для двигателей средней мощности при их работе на пониженных скоростях вращения.

При создании стенда использован АД с двумя валами, которые редко выпускаются производителями электрических машин, однако потребность в таких машинах в настоящее время вырастает.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учебное пособие. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
2. Грузов В.Л., Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Автоматизированный электропривод. Часть II. Теория электропривода. Учебное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – 258 с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / Под ред. Кравчика А.Э. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
4. Хитров А.И. Системы управления электроприводов: Методические указания к курсовой работе. – Псков: Изд-во ППИ, 2009. – 92 с.
5. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. – Электричество. – 34/98. – с. 38–42.
6. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

7. С.Г. Герман-Галкин. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 : учебное пособие. – СПб.: КОРОНА-ПРИНТ, 2007. – 320 с.  
 8. Копылов И.П. Применение вычислительных машин в инженерно-экономических расчетах (Электрические машины) : учебник. – М.: Высшая школа, 1980. – 256 с.

В.Н. ФЁДОРОВ

## О ПРИМЕНЕНИИ ОДНОМОМЕНТНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Рассматривается схема замещения электрической цепи в момент начала переходного процесса. Дается методика определения параметров элементов цепи в указанный момент времени.

При исследовании переходных процессов в линейных электрических цепях второго порядка необходимо найти две постоянные интегрирования. Пусть это будут  $A$  и  $B$  при действительных равных (или не равных) корнях, и  $C$  и  $\psi$  при сопряженных корнях.

Учебная литература [1,2] рекомендует выбирать в качестве исследуемой переменной ток индуктивности или напряжение на ёмкости. Первым уравнением системы уравнений для поиска постоянных интегрирования рекомендуется уравнение, составленное по закону коммутации применительно к исследуемому элементу  $i_L(0-) = i_L(0+)$  или  $u_C(0-) = u_C(0+)$ . В качестве второго уравнения рекомендуется записывать производную от исследуемой величины  $i'_L(0+)$  или  $u'_C(0+)$ .

Проблем с составлением первого уравнения у студентов обычно не возникает. Действительно, если преходящая составляющая тока описывается уравнением  $i_L = A \exp(p_1 t) + B \exp(p_2 t)$ , то первое уравнение записывается как  $i_L(0+) = A + B = i_L(0-)$ . Здесь  $p_1$  и  $p_2$  - корни характеристического уравнения,  $i_L(0-)$  - значение тока индуктивности до момента коммутации. Другое дело – поиск величины  $i'_L(0+)$  в уравнении  $i'_L(0+) = Ap_1 + Bp_2$ .

В настоящей работе предлагается находить не лишённую физического смысла производную от исследуемой величины, а второй параметр исследуемого элемента в момент времени  $t = 0+$ . Если исследуется ток индуктивности, то вторым уравнением системы поиска постоянных интегрирования должно быть уравнение напряжения на

индуктивности  $u_L(0+) = L \frac{di_L}{dt}(0+) = Lp_1 A + Lp_2 B$ . Если исследуется

напряжение на ёмкости, то вторым уравнением системы поиска постоянных интегрирования должно быть уравнение тока ёмкости

$$i_C(0+) = C \frac{du_C}{dt}(0+) = Cp_1 A + Cp_2 B.$$

Данное предложение не только имеет простое физическое толкование, но и легко рассчитывается по одномоментной схеме замещения. Термин «одномоментная», полагается вполне уместным. Данная схема замещения справедлива только для момента коммутации  $t = 0- = 0 = 0+$ .