

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

**УДК 621.313.33:62-83**

**В.Г. Каширских, В.М. Завьялов, А.В. Нестеровский**

### **АНАЛИЗ ШУМОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИЗМЕРНИТЕЛЬНОЙ СХЕМЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Управляемый электропривод на базе самых массовых и дешевых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АД) является в настоящее время наиболее перспективным для большинства промышленных установок. Это обусловлено как успехами в области создания высокоэффективных полупроводниковых преобразовательных устройств, так и совершенствованием информационных систем электроприводов.

Управление только тогда будет эффективным, когда известны параметры и состояние объекта управления. Однако для АД, как правило, известны лишь каталожные данные, являющиеся усредненными для серии электродвигателей, в то время как для конкретного двигателя они индивидуальны и, кроме того, некоторые из них в процессе работы изменяются в широких пределах, например, активное сопротивление короткозамкнутого ротора может изменяться в 1,5 раза, поэтому для

качественного управления требуется знать текущее значение параметров и состояния АД.

На кафедре электропривода и автоматизации КузГТУ разработана комплексная методика оперативной оценки параметров и состояния асинхронного двигателя в реальном времени на основании моделирования динамических процессов в АД с использованием расширенного фильтра Калмана и рекуррентного метода наименьших квадратов [1, 2]. При этом информация о физических процессах в двигателе получается непрерывным измерением только фазных токов и напряжений обмотки статора, а при работе АД со статической нагрузкой требуется также измерение скорости вращения ротора (при динамической нагрузке скорость вычисляется).

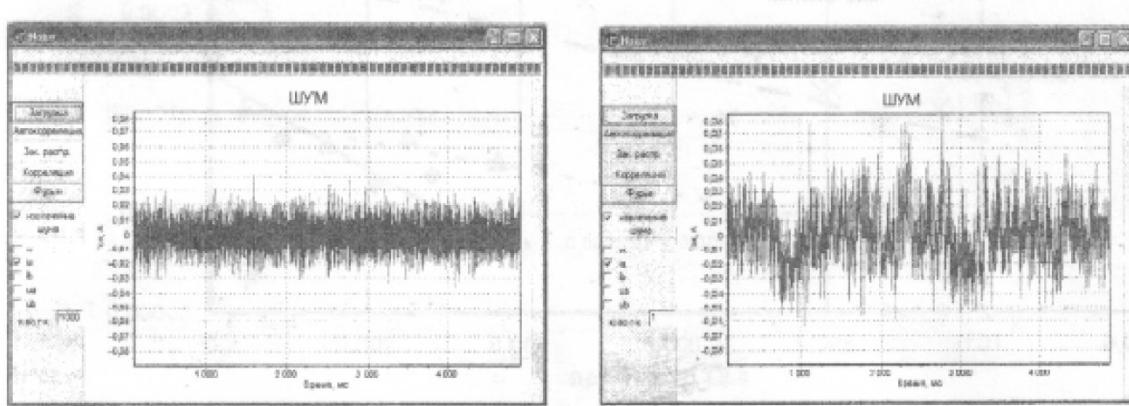
Для эффективного использования метода наименьших квадратов и расширенного фильтра Калмана необходимо, чтобы присутствующие в сис-

теме измерения шумы, вызванные различными погрешностями, представляли собой белую гауссовскую последовательность с нулевым математическим ожиданием и были некоррелированными по времени и между собой. Для расширенного фильтра Калмана необходимо также знание элементов ковариационной матрицы.

Ниже рассматривается анализ шумов, извлечение в системе измерения которых было проведено двумя различными способами: извлечением сигналов при отключенном и при включенном двигателе с последующим исключением во втором случае основной гармоники с использованием разложения полученных данных в ряд Фурье. Графики шумовых процессов для этих случаев показаны на рис. 1.

Для полученных таким образом данных были определены следующие основные статистические характеристики.

1. Автокорреляционная



*Rис. 1. Шум в канале измерения тока статора: а) при отключенном двигателе;  
б) при включенном двигателе с исключением основной гармоники*

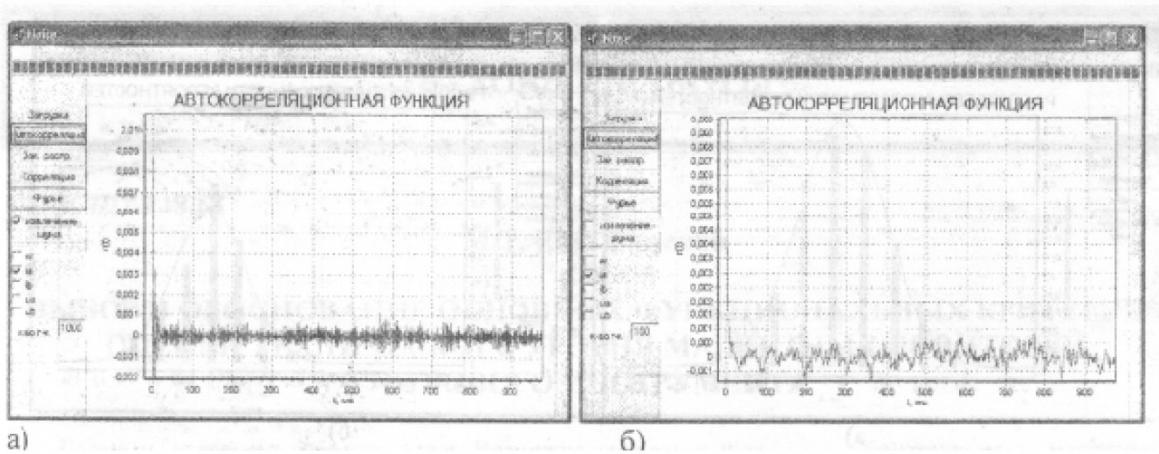


Рис.2. Автокорреляционные функции шума в канале измерения тока статора: а) при отключенном двигателе; б) при включенном двигателе с исключением основной гармоники

функция, которая характеризует корреляцию сигнала по времени и при нулевом математическом ожидании и рассчитывается по выражению:

$r(t) = E[l_{ia}(\tau) l_{ia}(\tau+t)]$ ,  
где  $l_{ia}(\tau)$ ,  $l_{ia}(\tau+t)$  - составляющая вектора тока статора по оси  $a$  соответственно в момент времени  $\tau$  и  $\tau+t$ ,  $E$  - математическое ожидание.

Из автокорреляционных, функций, показанных на рис.2, следует, что для обоих случаев явной корреляции по времени не прослеживается.

2. Ковариационная матрица характеризует корреляцию между шумами разных измерительных каналов. Ее диагональные элементы являются дисперсией сигналов соответствующих каналов. Элементы ковариационной матрицы при нулевом математическом ожидании определяются по следующей формуле:

$$R = E[vv^T],$$

где  $v$  - вектор шума измерения. Ковариационные матрицы шумов исследуемой измерительной системы представлены в габл.1,2. Здесь  $l_{ia}$ ,  $l_{i\beta}$  - составляющие тока статора по осям  $a$ ,  $\beta$ ,  $u_{ia}$ ,  $u_{i\beta}$  - составляющие напряжения статора по осям  $a$ ,  $\beta$ ,  $\omega_i$  - скорость вращения

ротора.

Анализ ковариационных матриц подтверждает предположение, что шумы в соседних каналах системы измерения не коррелированы между собой, что выражено в том, что недиагональные элементы этих матриц на два порядка меньше диагональных элементов.

3. Закон распределения, который должен быть нормаль-

ным. Проверка закона распределения шумов на нормальность показана на примере шума, присутствующего в составляющей тока статора по оси  $a$  путем сравнения гистограммы на рис.3 с кривой, полученной по известному выражению:

$$P(l_{ia}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t_a^2}{2\sigma^2}}$$

Таблица 1  
Ковариационная матрица шумов, полученных при отключенном двигателе

Величина, из которой извлечен шум	$l_{ia}$	$l_{i\beta}$	$u_{ia}$	$u_{i\beta}$	$\omega_i$
$l_{ia}$	-0,0087	0,00008	-0,00007	0,000009	0,00003
$l_{i\beta}$	0,000008	0,0064	0,00003	0,00007	-0,00001
$u_{ia}$	-0,00007	-0,00003	0,00113	0,00008	0,000004
$u_{i\beta}$	0,000009	0,00007	0,00008	0,0095	0,000009
$\omega_i$	0,00003	-0,00001	0,000004	0,000009	0,0023

Таблица 2  
Ковариационная матрица шумов, полученных при включенном двигателе, с последующим исключением основной гармоники

Величина, из которой извлечен шум	$l_{ia}$	$l_{i\beta}$	$u_{ia}$	$u_{i\beta}$	$\omega_i$
$l_{ia}$	0,0089	0,000005	-0,00003	0,000011	0,00002
$l_{i\beta}$	0,000005	0,0039	-0,00005	0,00006	0,00003
$u_{ia}$	-0,00003	-0,00005	0,0093	0,00008	0,00003
$u_{i\beta}$	0,000011	0,00006	0,00008	0,0087	0,00004
$\omega_i$	0,00002	0,00003	0,00003	0,00004	0,0033

где  $P(l_{ia})$  - плотность распределения вероятности;  $i$  - ширина интервала выборки;  $\alpha$  - дисперсия шума.

Из сравнения видно, что расчетные кривые достаточно точно огибают гистограммы, построенные по экспериментальным данным.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что статисти-

ческие свойства шумов измерительной системы, использованной нами для оценки параметров и состояния АД, полностью удовлетворяют требованиям, выполнение которых необходимо для применения фильтра Калмана и метода наименьших квадратов.

Следует также отметить, что статистические свойства шумов системы измерения, по-

лученных при отключенном двигателе и при включение последующим удалением полезного сигнала путем разложения полученных данных в ряд Фурье), примерно одинаковые, поэтому на практике для определении ковариационной матрицы удобнее пользоваться данными, полученными при отключенном двигателе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширских В.Г., Завьялов В.М. Оценка параметров и состояния асинхронного двигателя при динамической нагрузке. - Москва, 2002. - 11с. - Рукопись предоставлена Кузбас. гос. техн. ун-том. ВИНИТИ 26 дек. 2002, №2265-В2002.

2. Каширских ВТ., Завьялов В.М. Оценка параметров и состояния асинхронного двигателя при устанавливающемся режиме работы - Москва, 2002. - 11с. - Рукопись предоставлена Кузбас. гос. техн. ун-том. Деп. в ВИНИТИ 26 дек. 2002, №2266-В2002. Ж

Авторы статьи:

Каширских

Вениамин Георгиевич  
- кандидат технических наук,  
доцент, заведующий кафедрой  
электропривода и автоматизации

Завьялов

Валерий Михайлович  
- старший преподаватель кафедры  
электропривода и автоматизации

Нестеровский

Александр Владимирович  
- аспирант кафедры электропривода и автоматизации