

УДК 621.314.24

МЕТОД ОЦЕНКИ МГНОВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В.И. Смолин, В.А. Яковлев

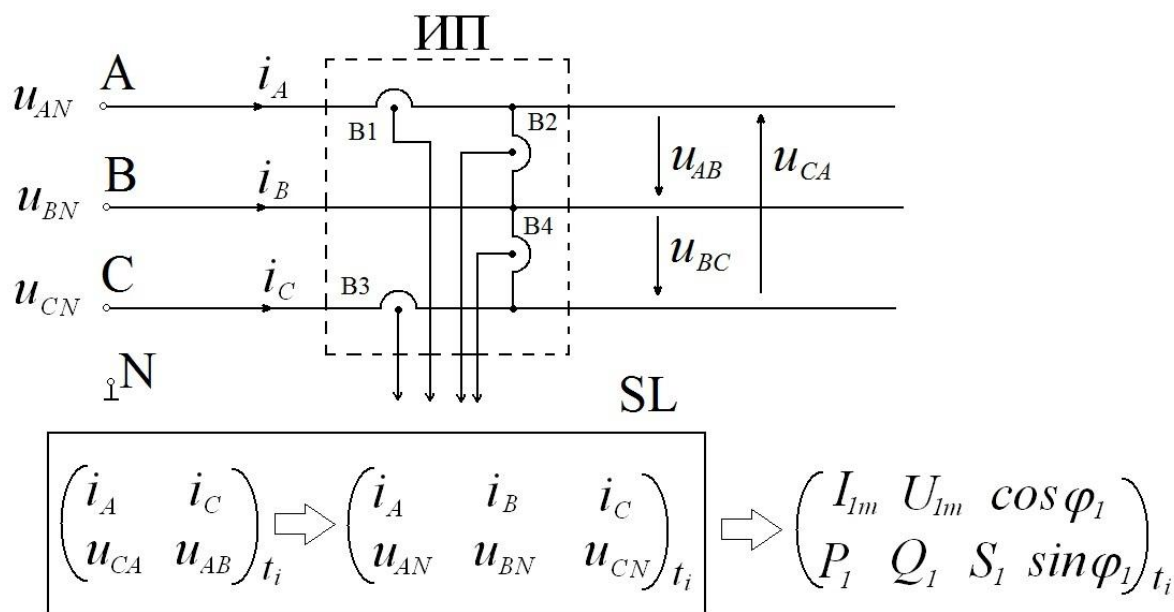
Рассмотрен метод измерения мгновенных значений амплитуд первых гармоник токов и напряжений, активной и реактивной мощностей, мгновенных фазовых соотношений между гармониками напряжений и токов трехфазной цепи, образованной преобразователем частоты с широтно-импульсным формированием напряжений и электромеханическим преобразователем (асинхронной и синхронной электрической машиной). Исследование выполнено с применением технологии обработки информации в обобщенных переменных энергетического состояния. Работа содержит оценку точности и быстродействия алгоритмов вычисления искомых величин по данным измерений первичных датчиков тока и напряжения. Область применения – системы управления электроприводом.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, синхронный двигатель, информационно-измерительная система, формирование переменных управлений.

Введение. В системах управления электроприводом переменного тока необходимо решать две взаимосвязанные задачи. Первая относится к управлению координатами электропривода (ЭП), вторая – к управлению состоянием электромагнитной системы (ЭМС) трехфазных электромеханических преобразователей (асинхронных и синхронных двигателей). Текущее состояние ЭМС во многом определяется параметрами входного энергопотока электрических машин: амплитудой фазных токов и напряжений, мгновенными значениями потребляемой активной P_1 и реактивной Q_1 мощностей, мгновенными фазовыми соотношениями между гармониками напряжения и тока $\cos\varphi_1$, $\sin\varphi_1$, включая знак фазового угла φ_1 . К наиболее существенным параметрам, характеризующим внутреннее состояние ЭМС, относятся электромагнитный момент $M_{эм}$, магнитный поток Φ_0 и синхронная частота вращения ω_0 магнитного поля.

В трехфазных цепях электропривода с векторным управлением индукционной машиной применяют в основном токовые измерительные преобразователи [1, 2]. Информационный потенциал трехфазной системы напряжений практически не используется. В работе рассмотрен метод оценки энергетического состояния трехфазной цепи между преобразователем частоты и электромеханическим преобразователем, позволяющий существенно повысить информационные возможности электропривода.

Постановка задачи. На рис. показана трехпроводная цепь между преобразователем частоты и электромеханическим преобразователем (ЭМП).



Информационный блок тягового электродвигателя:

ИП – блок измерительных преобразователей, SL – электронный блок управления;
B1...B4 – измерительные преобразователи токов и напряжений

Электромагнитная система ЭМП считается симметричной. Энергоносителем в цепи являются первые гармоники токов и напряжений. Переносом энергии на других гармониках широтно-импульсной модуляции пренебрегают. Информационно-измерительная система (ИИС) электропривода содержит электронный блок управления (SL) и блок измерительных преобразователей (ИП) – датчиков B1...B4 мгновенных значений токов и напряжений. Технология таких измерений на основе датчиков Холла считается отработанной [3]. Ранее в качестве датчиков B1...B4 применяли измерительные трансформаторы тока и напряжения. Покажем, что рассматриваемая ИИС позволяет получить исчерпывающую информацию о мгновенных значениях перечисленных ранее величин с целью управления состоянием ЭМС и координатами электропривода.

Алгоритмы обработки первичных данных. Преобразователь частоты формирует трехфазную систему напряжений управляемой частоты и амплитуды путем широтно-импульсной модуляции постоянного напряжения. С целью подавления модуляционных составляющих и выделения первых гармоник токов и напряжений необходимо, чтобы блок управления SL осуществлял аналого-цифровую фильтрацию сигналов первичных датчиков B1...B4.

Современные средства измерительной техники и цифровой обработки сигналов [3, 4, 5] позволяют с достаточной точностью и быстродействи-

ем решать поставленную задачу. Рассматриваемые далее алгоритмы относятся к первым гармоникам токов и напряжений. Полученные данные будем считать мгновенными, если время τ аналого-цифровой обработки информации много меньше периода синхронной частоты ω_0 ($\tau \ll T_0$). Или $\tau \ll T_{cp} = 1/f_{cp}$, где f_{cp} – полоса пропускания системы управления электроприводом.

Преобразуем массив мгновенных значений линейных токов и напряжений, поступающих в блок управления SL с измерительных преобразователей В1...В4 (рис. 1), в массив мгновенных значений фазных токов и напряжений:

$$\begin{aligned} i_B &= -(i_A + i_C); \quad u_{BC} = -(u_{AB} + u_{CA}); \\ u_{AN} &= \frac{u_{BC} + 2u_{AB}}{3}; \quad u_{BN} = \frac{u_{CA} + 2u_{BC}}{3}; \quad u_{CN} = \frac{u_{AB} + 2u_{CA}}{3}. \end{aligned} \quad (1)$$

Индекс «i» момента измерения в уравнениях (1) и далее опущен. Полагая, что трехфазная система напряжений первых гармоник симметрична: $u_{AN} = U_{1m} \sin \alpha$, $u_{BN} = U_{1m} \sin(\alpha - 120^\circ)$, $u_{CN} = U_{1m} \sin(\alpha + 120^\circ)$, $\alpha = \omega_0 \cdot t$, определим обобщенное напряжение входного энергопотока $U_1^2 = u_{AN}^2 + u_{BN}^2 + u_{CN}^2$.

После тригонометрических преобразований получим:

$$U_1^2 = 1,5 \cdot U_{1m}^2. \quad (2)$$

Аналогичное преобразование справедливо для тока $I_1^2 = 1,5 \cdot I_{1m}^2$ и входной мощности

$$P_1 = u_{AN} \cdot i_A + u_{BN} \cdot i_B + u_{CN} \cdot i_C = 1,5 \cdot U_{1m} \cdot I_{1m} \cdot \cos \varphi_1. \quad (3)$$

Выразим мощность P_1 через обобщенные ток I_1 и напряжение U_1 :

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1. \quad (4)$$

Тогда мгновенные значения коэффициента мощности:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} = \frac{u_{AN} \cdot i_A + u_{BN} \cdot i_B + u_{CN} \cdot i_C}{\sqrt{u_{AN}^2 + u_{BN}^2 + u_{CN}^2} \cdot \sqrt{i_A^2 + i_B^2 + i_C^2}}. \quad (5)$$

Будем считать $S_1 = U_1 \cdot I_1$ – полной мгновенной мощностью обобщенного энергопотока [6, 7]. Тогда мгновенная реактивная мощность:

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1. \quad (6)$$

Синхронные машины могут работать в режимах активной, активно-индуктивной или активно-емкостной нагрузок на трехфазную сеть. Знак фазового угла φ_1 не определяется формулой (6). Мгновенное значение $\sin \varphi_1$ с учетом знака можно определить по данным измерений двух фаз:

$$\sin \varphi_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot (\delta u_a \cos \varphi_1 - \delta i_a)}{2 \cdot (\delta u_b + 0,5 \delta u_a)}, \quad (7)$$

где $\delta u_a = \frac{u_a}{U_m}$; $\delta u_b = \frac{u_b}{U_m}$; $\delta i_a = \frac{i_a}{I_m}$ – относительные величины токов и напряжений. Формула (7) справедлива, если известна последовательность чередования фаз напряжений и угол не превышает 90° .

Заключение. Рассмотрена измерительная система мгновенных токов и напряжений трехфазных электромеханических преобразователей, позволяющая получить практически исчерпывающую информацию о текущем состоянии обобщенного энергопотока между преобразователем частоты и электрической машиной. Область применения данной разработки – системы управления электроприводом переменного тока.

Библиографический список

1. Виноградов, А. Адаптивно-векторная система управления бездатчикового асинхронного электропривода серии ЭПВ / А. Виноградов, А. Сибирцев, И. Колодин // Силовая электроника. – 2006. – № 3. – С. 50–55.
2. Панкратов, В.В. Задачи синтеза алгоритмов идентификации для бездатчиковых асинхронных электроприводов с векторным управлением и вариант их решения / В.В. Панкратов, М.О. Маслов // Силовая интеллектуальная электроника. – 2007. – № 1(6). – С. 23–43.
3. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
4. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
5. Групповая задержка и ее влияние на тестирование потоков последовательных данных / П.Дж. Пупалайкис // Компоненты и технологии. – 2007. – № 1. – С. 150–157.
6. Смолин, В.И. Основы теории обобщенного энергопотока трехфазных электромеханических преобразователей / В.И. Смолин, И.Г. Топольская // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. № 1. – С. 128–136.
7. Смолин, В.И. Теория обобщенного энергопотока трехфазных электромеханических преобразователей в задачах управления электроприводом / В.И. Смолин, И.Г. Топольская // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Т. 1. – Саранск, 2014. – С. 111–115.

[К содержанию](#)