

даны, поскольку позволяют создавать и использовать объектно-ориентированные реакторы минимальной стоимости для безударного пуска высоковольтных асинхронных электроприводов.

Список литературы

1. Вечеркин, М.В., Сарваров, А.С. Исследование способов регулирования производительности вентиляторной станции ЛПЦ-10 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2006. №4. – С. 63-67.

2. Вечеркин, М.В., Макаров, А.В., Славгородская, Е.В., Макарчева Е.В. Физика и физические методы неразрушающего контроля: образование, теория, практика: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – С. 75-82.

3. Вечеркин, М.В., Славгородская, Е.В., Славгородский, В.Б., Сарваров, И.А. Моделирование пусковых процессов асинхронных двигателей при использовании тиристорных регуляторов напряжения, реакторов, автотрансформаторов и трансформаторно-тиристорных пусковых устройств. Труды VII Международной (VII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – С. 350-355.

4. Соколов, М.М., Петров, Л.П., Масандилов, Л.Б., Ладензон, В.А. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М.: «Энергия», 1967.

УДК 62-63:681.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБОРОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ТАХОГЕНЕРАТОРА НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Ю.В. Мерзляков, Г.Г. Толмачев

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
profkom-mgtu-mgn@mail.ru, gen-tolm@mgn.ru*

Аннотация

В статье представлены результаты исследований влияния оборотных пульсаций напряжения тахогенератора на дополнительные потери мощности в электроприводе. Установлено, что двойная амплитуда

пульсаций до 2 % вызывает дополнительные потери до 33 % от номинальной мощности двигателя.

Ключевые слова: обратные пульсации, тахогенератор, дополнительные потери мощности, электропривод, ток якоря, амплитуда колебаний, частота вращения, система регулирования.

RESEARCH OF TACHOGENERATOR ROTATION FLICKER VOLTAGE INFLUENCE ON ADDITIONAL POWER LOSSES IN ELECTRIC DRIVE

Yu.V. Merzlyaov, G.G. Tolmachov

Nosov Magnitogorsk State Technical University

Russia, Magnitogorsk

profkom-mgtu-mgn@mail.ru, gen-tolm@mgn.ru

Abstract

In Article the Results of Tachogenerator Rotation Flicker Voltage Influence on Additional Power Losses in Electric Drive are given. It is determined that Double Magnitude of Tachogenerator Rotation. Flicker Voltage up to 2% makes Additional Losses up to 33% of Motor Nominal Power.

Key words: Tachogenerator Rotation Flicker Voltage, Additional Power Losses, Electric Drive, Current of the Armature, Magnitude Flicker, Frequency Rotation, Regulation Control System of the Speed.

В настоящее время в качестве датчиков скорости электродвигателей в металлургии наибольшее распространение получили прецизионные тахогенераторы постоянного и переменного тока, импульсные фотоэлектрические и индукционные датчики скорости (ДС), которые выполняются в виде автономных устройств. Неточность изготовления самих датчиков и узлов механического сочленения с валом двигателя вызывает погрешность в измерении скорости [1]. Высокочастотные пульсации в выходном сигнале ДС не оказывают заметного влияния на работу электропривода, так как по отношению к этим пульсациям САР скорости является фильтром нижних частот. Для электроприводов в металлургической промышленности полоса пропускания замкнутой САР скорости составляет $(30 - 50) \text{ с}^{-1}$. В этом случае существенными являются низкочастотные погрешности измерения скорости типа обратных пульсаций. Наличие пульсаций в выходном напряжении ДС в замкнутой системе регулирования приводит к появлению вынужденных пульсаций тока якоря двигателя, и как следствие, к

увеличению потерь мощности, ухудшению условий коммутации, повышенному нагреву двигателя и преждевременному старению изоляции [2].

В выходное напряжение тахогенератора (ТГ) помимо постоянной составляющей, пропорциональной скорости вращения якоря двигателя, входят полюсные, зубцовые, коллекторные, оборотные пульсации. Для серийно-выпускаемых тахогенераторов уровень оборотных пульсаций выходного напряжения ($\Delta U_{об}$) составляет (0,5–3) %, полюсных (ΔU_n) – (0,5–2) %, зубцовых ($\Delta U_з$) – (0,8–0,5) %, коллекторных (ΔU_k) – до 0,5 %.

Известно [1], что при сочленении через обычную муфту параллельное смещение вала ТГ относительно вала двигателя приводит к появлению оборотных (скоростных) пульсаций напряжения с выхода ТГ, а угловой перекося осей валов приводит к оборотным пульсациям, которые за один оборот дважды достигают максимального значения. Выходное напряжение тахогенератора (U_{mz}) при постоянной частоте вращения якоря двигателя описывается выражением:

$$U_{mz} = U_{cp.mz} + 0,5\Delta U_{mz} \sin \omega_{\alpha} t,$$

где $U_{cp.mz}$ – среднее выходное напряжение тахогенератора; $\omega_{\alpha} = 2\pi f_{об}$ – циклическая частота оборотных пульсаций напряжения тахогенератора, равная угловой частоте вращения якоря двигателя; $f_{об} = n/60$, где n – скорость вращения якоря, об/мин.

Полюсные, коллекторные и зубцовые пульсации выходного напряжения ТГ имеют достаточно высокую частоту и практически не оказывают влияния на вынужденные колебания тока якоря двигателя. Оборотные пульсации выходного напряжения тахогенератора, имеющие наиболее низкую частоту, приводят к появлению значительных вынужденных колебаний тока якоря. Снижение колебаний тока до допустимого уровня достигается установкой фильтра в канале обратной связи по скорости или снижением точности и быстродействия контура регулирования скорости.

Дополнительные относительные потери активной мощности в элементах силовой цепи электропривода (обмотках якоря, трансформатора, реакторов и шин), вызванные вынужденными колебаниями тока якоря двигателя, определяются следующим выражением:

$$\Delta P = \rho \Delta I_{я\delta}^2, \quad (1)$$

где $\rho = \frac{R_{\Sigma} I_n}{E_{do}}$ – относительное активное сопротивление силовой цепи,

R_{Σ} – суммарное активное сопротивление силовой цепи, E_{do} – максимальное среднее значение ЭДС вентильного преобразователя, $\Delta I_{яd} = 0.3535 \Delta I_{я}$ – относительное действующее значение переменной составляющей тока якоря двигателя ($\Delta I_{я}$ – относительное значение двойной амплитуды пульсаций тока в долях от номинального значения).

Относительная амплитуда переменной составляющей тока якоря двигателя определяется следующим выражением [3]:

$$\Delta I_{я} = \frac{\Delta U_{об} \omega_{cc} T_m \omega_{\alpha}^2}{\rho \omega_{do} \omega_n \sqrt{(T_{fc} \omega_{\alpha}^2 + 1) [(T_1 + T_y) \omega_{\alpha}^2 + 1]}}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{об}$ – относительная двойная амплитуда оборотных пульсаций выходного напряжения тахогенератора в долях от максимального значения, ω_{cc} – частота среза контура регулирования скорости, T_m – электромеханическая постоянная времени электропривода при номинальном потоке возбуждения, ω_{do} – частота вращения якоря двигателя идеального холостого хода при ЭДС двигателя, равной E_{do} , ω_n – номинальная частота вращения якоря двигателя, T_{fc} – постоянная времени фильтра в цепи обратной связи по скорости, T_y – сумма малых постоянных времени элементов САР, T_1 – эквивалентная постоянная времени замкнутого контура регулирования тока якоря двигателя.

Исследование влияния оборотных пульсаций эдс тахогенератора на дополнительные потери мощности выполнено на математической модели САР скорости электропривода чистой клетки стана 2500 горячей прокатки ОАО «ММК» с двигателем типа П2-24/71-7/У4, реализованной в пакете Matlab Simulink. Параметры САР скорости электропривода приведены в табл. 1. Мощность потерь измерялась по переменным составляющим напряжения и тока якоря, обусловленными пульсациями ЭДС тахогенератора, на холостом ходу работы электропривода. С этой целью на вход регулятора скорости подавался синусоидальный сигнал с амплитудой и частотой, соответствующими работе электропривода на номинальной и максимальной скоростях вращения якоря двигателя.

Таблица 1

Параметры САР скорости электропривода

| | |
|---|---------|
| Номинальная мощность, P_n , кВт | 8300 |
| Номинальное напряжение, U_n , В | 930 |
| Номинальный ток, I_n , А | 9030 |
| Номинальная/максимальная скорость, n_n/n_{max} , об/мин | 175/330 |
| Суммарный момент инерции, kg/m^2 | 49682 |
| Частота среза контура регулирования тока 1/с | 100 |
| Частота среза контура регулирования скорости, ω_{cc} , 1/с | 40 |
| Постоянная времени фильтра в обратной связи по скорости, $T_{фс}$, с | 0.006 |

В связи с тем, что цепь якоря двигателя является активно-индуктивной нагрузкой, колебания тока якоря имеют отстающий фазовый сдвиг относительно колебаний напряжения, поэтому производились измерения относительных величин активной (ΔP) и реактивной (ΔQ) составляющих мощностей потерь. В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

| $\Delta U_{об}$ | $f_{об} = 2.91$ Гц | | | $f_{об} = 5.5$ Гц | | |
|-----------------|--------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
| | $\Delta I_{я}$ | ΔP | ΔQ | $\Delta I_{я}$ | ΔP | ΔQ |
| 0,005 | 0,1827 | 0,0018 | 0,00025 | 0,609 | 0,0203 | 0,014 |
| 0,01 | 0,3652 | 0,0073 | 0,0010 | 1,221 | 0,0814 | 0,565 |
| 0,015 | 0,548 | 0,016 | 0,0022 | 1,83 | 0,1833 | 0,127 |
| 0,02 | 0,73 | 0,0292 | 0,0042 | 2,43 | 0,326 | 0,226 |

$\Delta U_{об}$ – двойной размах оборотных пульсаций, отнесенный к значению эдс ТГ при максимальной скорости вращения якоря двигателя.

По уравнениям (1) и (2) рассчитаны относительная амплитуда переменной составляющей тока якоря и дополнительные относительные потери активной мощности для двигателя типа П2-24/71-7/У4. На основании результатов проведенных выше экспериментальных исследований и расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Результаты расчетов по уравнениям (1) и (2) и математического моделирования практически совпадают.

2. В современных быстродействующих САР скорости электроприводов непрерывных листопркатных станов качество датчика сигнала обратной связи по скорости в значительной степени определяет

уровень переменной составляющей тока якорной цепи. Так при изменении $\Delta U_{об}$ от 0.5% до 2% и скорости вращения от номинальной до максимальной относительная амплитуда переменной составляющей тока якорной цепи возрастает от 0,1827 до 2,43.

3. Значительное увеличение относительной амплитуды переменной составляющей тока якорной цепи (до предельного значения) при максимальной скорости вращения (за счет ослабления потока возбуждения в два раза) обусловлено увеличением коэффициента усиления регулятора скорости и снижением электромагнитного момента в два раза.

4. Относительные дополнительные потери активной мощности в якорной цепи двигателя в пределах от 0,0018 до 0,326, реактивной мощности - от 0,00025 до 0,226. обусловленные переменной составляющей тока якорной цепи, определяются пульсациями напряжения тахогенератора. Их амплитуда растёт по мере ухудшения качества стыковки валов двигателя и тахогенератора и возрастания частоты вращения прокатного двигателя.

Список литературы

1. Тун А. Я. Системы контроля скорости электропривода. - М.: Энегоатомиздат, 1984 г. -167 с.

2. Мерзляков Ю.В., Толмачев Г.Г., Карандаев А.С., Галкин В.В., Головин В.В., Хлыстов А.И. Исследование условий коммутации двигателей электроприводов широкополосного стана горячей прокатки // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 3. С. 89 – 96.

3. Косматов В.И., Мерзляков Ю.В., Толмачев Г.Г., Киселев С.Н. Оценка влияния обратных пульсаций напряжения тахогенератора на дополнительные потери мощности в электроприводе // Изв. Вузов Электромеханика. 2006. № 4. С. 35 – 37.

УДК 621.382

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ

***магистрант У.В. Михайлова, магистрант Е.А. Михайлов,
руководитель – А.С. Сарваров***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
ylianapost@gmail.com*