

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА КОМПЕНСАЦИИ В СИСТЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ КОМПЕНСАТОРОМ ДЛЯ МАШИН СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Сулим А.А., инж.

Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения

39621, г. Кременчуг, ул. И.Приходько, 33

E-mail: office@ukrndiv.kremen.ukrtel.net

Ломонос А.И., ст. препод.

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского

39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

E-mail: saue@polytech.poltava.ua

У роботі приведена структурна схема замкненої системи динамічного навантаження з електромеханічним компенсатором. На основі цієї схеми у пакеті MatLab розроблена математична модель даної системи. З використанням математичної моделі досліджено режими компенсації при однакових номінальних параметрах електричних машин середньої потужності.

Ключові слова: електромеханічний компенсатор, машина постійного струму, система динамічного навантаження

The block scheme of a closed system of brunt with electromechanical canceller has been delivered in this work. Based on this scheme the mathematical model has been begotten in MatLab. Using the mathematical model the regimes of compensation when the nominal parameters of average power electrical motors are the same have been studied.

Key words: electromechanical canceller, direct current motor, system of brunt

Введение. В последнее время в различных областях электротехники большое внимание уделяется вопросам мониторинга и диагностики электрических машин, как находящихся в эксплуатации, так и прошедших ремонт. Рост количества повторных отказов электрических машин, возвращенных после ремонта в прежний технологический процесс, объективно указывает не только на необходимость определения нового паспорта машины, но и на составление рекомендаций по дальнейшему ее использованию, а также – определение фактического ресурса работоспособности. Данные рекомендации могут быть выработаны в ходе послеремонтных испытаний.

Анализ предыдущих исследований. В электроремонтных цехах испытания обычно проводятся при статическом нагружении, когда управляющие воздействия неизменны во времени или меняются медленно. Основными недостатками известных систем статического нагружения машин постоянного тока (МПТ) по методу взаимного нагружения с инвертированием энергии в сеть есть механические связи и необходимость монтажа при проведении испытаний. Этих недостатков лишены системы динамического нагружения (СДН). В СДН МПТ нагружение осуществляется за счет формирования знакопеременного электромагнитного момента, что обеспечивает необходимую токовую нагрузку [1].

Однако из работы [1] известно, что в системах динамического нагружения машин постоянного то-

ка, работающих в режимах динамического нагружения, циркулирует знакопеременная мощность, колебания которой оказывают негативное влияние на снабжающую сеть и других потребителей, а также приводят к необходимости установки силового трансформаторного и преобразовательного оборудования повышенной мощности. Для снижения указанных недостатков в работах [2, 3] предложено применение различного рода накопителей энергии.

В работе [4] предложен способ использования электромеханического накопителя-компенсатора, в качестве которого применяется машина постоянного тока; приведены принципы построения регулятора нагрузки системы испытания; алгоритмы определения и формирования управляющих воздействий, при которых будет достигнут наибольший эффект компенсации и минимальное потребление энергии из сети.

В работе [5] построена замкнутая система управления с экстремальным регулятором и исследованы режимы компенсации при одинаковых и различных соотношениях мощностей исследуемого двигателя (ИД) и накопительно-компенсирующего устройства (НКУ) для двигателей малой мощности. Установлено, что наибольший эффект компенсации, когда в качестве ИД и НКУ применяются машины с одинаковыми номинальными параметрами. Режим компенсации – режим, при котором снижается эффективное значение тока источника питания. Условием формирования режима компенсации в замкнутой

СДН с НКУ является определением оптимального угла сдвига. Угол определяется на основании нахождения разности фаз между векторами мгновенных значений токов электрических машин.

Цель работы – исследование режимов компенсации, при которых эффективное значение тока источника питания в замкнутой СДН при одинаковых номинальных параметрах двигателей средней мощности будет знакопостоянным и минимальным.

Материал и результаты исследования. В работе [5] СДН описывается системой дифференциальных уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 U(t) &= I_S(t) \cdot R_S + L_S \cdot \frac{dI_S(t)}{dt} + I_{я1}(t) \cdot R_{я1} + \\
 &+ L_{я1} \cdot \frac{dI_{я1}(t)}{dt} + k\Phi_1(t) \cdot w_1(t); \\
 U(t) &= I_S(t) \cdot R_S + L_S \cdot \frac{dI_S(t)}{dt} + I_{я2}(t) \cdot R_{я2} + \\
 &+ L_{я2} \cdot \frac{dI_{я2}(t)}{dt} + k\Phi_2(t) \cdot w_2(t); \\
 I_S(t) &= I_{я1}(t) + I_{я2}(t); \\
 E_1(t) &= k\Phi_1(t) \cdot w_1(t); \quad E_2(t) = k\Phi_2(t) \cdot w_2(t); \\
 k\Phi_1 &= c_1(I_{\epsilon 1}); \quad k\Phi_2 = c_2(I_{\epsilon 2}); \\
 U_{\epsilon 1}(t) &= I_{\epsilon 1}(t) \cdot R_{\epsilon 1} + \frac{d}{dt} \{L_{\epsilon 1}(I_{\epsilon 1}) \cdot I_{\epsilon 1}\}; \\
 U_{\epsilon 2}(t) &= I_{\epsilon 2}(t) \cdot R_{\epsilon 2} + \frac{d}{dt} \{L_{\epsilon 2}(I_{\epsilon 2}) \cdot I_{\epsilon 2}\}; \\
 I_{я1}(t) \cdot k\Phi_1(t) &= M_{01}(t) + J_1 \cdot \frac{dw_1(t)}{dt}; \\
 I_{я2}(t) \cdot k\Phi_2(t) &= M_{02}(t) + J_2 \cdot \frac{dw_2(t)}{dt},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где E_S , R_S и L_S – ЭДС, активное сопротивление и индуктивность источника питания соответственно; $R_{я1}$ и $L_{я1}$ – активное сопротивление и индуктивность испытуемой машины; $R_{я2}$ и $L_{я2}$ – активное сопротивление и индуктивность накопителя-компенсатора; $k\Phi_1(t)$, $k\Phi_2(t)$ – коэффициенты магнитного потока испытуемой машины и компенсатора; $U_{\epsilon 1}(t)$, $U_{\epsilon 2}(t)$, $I_{\epsilon 1}(t)$, $I_{\epsilon 2}(t)$ – напряжения и токи в цепях возбуждения электрических машин; $R_{\epsilon 1}$, $R_{\epsilon 2}$, $L_{\epsilon 1}$, $L_{\epsilon 2}$ – активные сопротивления и индуктивности в цепях возбуждения электрических машин; c_1 , c_2 – конструктивные коэффициенты машин; $w_1(t)$, $w_2(t)$ – частоты вращения двигателя и накопителя; J_1 , J_2 – моменты инерции двигателя и накопителя; $M_{01}(t)$, $M_{02}(t)$ – моменты механического сопротивления вращению, обусловленные потерями в стали, в подшипниковых узлах и щеточно-коллекторном аппарате. С целью упрощения исследования принимаем: $M_{01}(t) = a_1 \cdot w_1(t)$, $M_{02}(t) = a_2 \cdot w_2(t)$, где a_1 , a_2 – коэффициенты моментов механического сопротивления вращению.

На основании системы дифференциальных уравнений (1) с помощью передаточных звеньев в пакете

MatLab составлена математическая модель замкнутой СДН с НКУ, структурная схема которой изображена на рис. 1 [5].

В состав разработанной схемы входят блоки формирования переменной составляющей потока (БФПСП), блоки определения фазы (БОФ), блоки временной задержки (БВЗ), переключающие устройства (ПУ), датчики эффективного тока (ДЭТ).

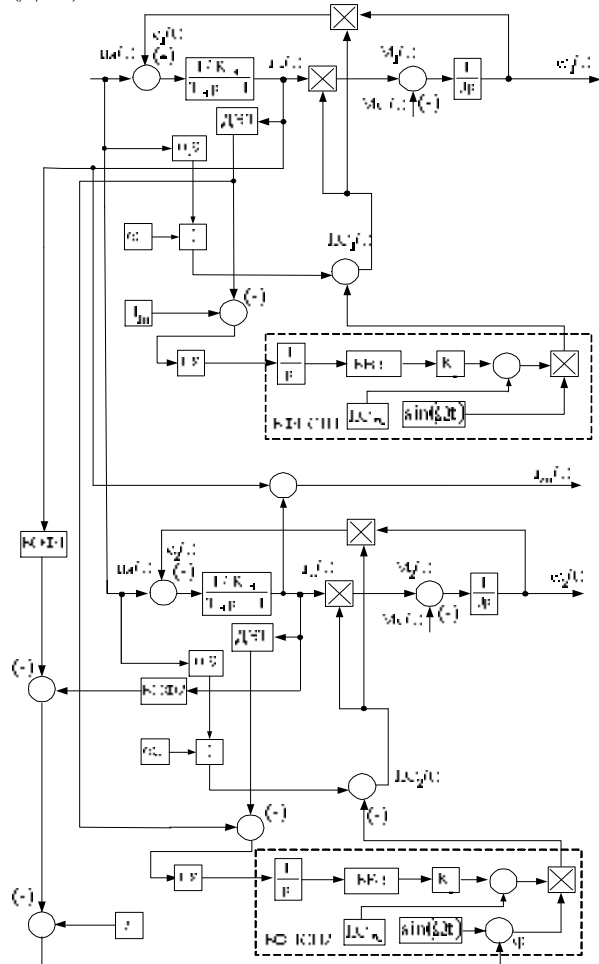


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели замкнутой СДН с НКУ

С использованием математической модели замкнутой СДН с НКУ исследованы режимы компенсации при одинаковых номинальных параметрах двигателя и компенсатора средней мощности для двух случаев. В качестве ИД и НКУ выбраны электрические машины с номинальными параметрами: $P_n=110 \text{ кВт}$, $R_n=9 \text{ мОм}$, $L_n=0,9 \text{ мГн}$, $J=2,57 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $I_n=508 \text{ А}$, $U_n=220 \text{ В}$, $k\Phi_n=1,37 \text{ Вб}$, $a=0,02324$ в первом случае и $P_n=210 \text{ кВт}$, $R_n=5,2 \text{ мОм}$, $L_n=0,2919 \text{ мГн}$, $J=5,75 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $I_n=1 \text{ кА}$, $U_n=220 \text{ В}$, $k\Phi_n=1,37 \text{ Вб}$, $a=0,1$ – во втором.

В ходе исследований на математической модели фиксировались временные зависимости в квазиустановившемся режиме: мгновенных значений токов, магнитных потоков, частот вращения, эффективных значений токов электрических машин, а также мгновенное и эффективное значения тока ис-

точника питания, оптимальный угол сдвига управляющих сигналов, подаваемых на обмотки возбуждения обеих машин (рис. 2 – 11).

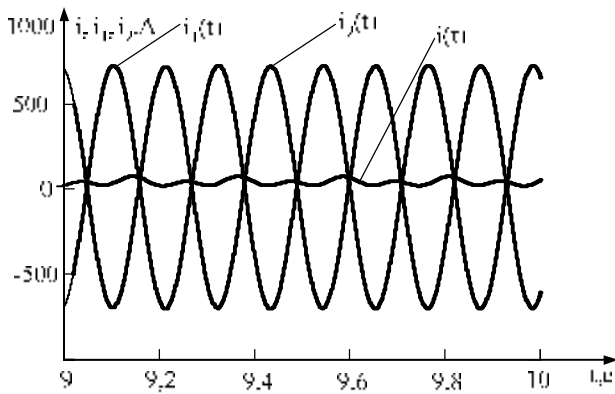


Рисунок 2 – Графики мгновенных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для первого случая

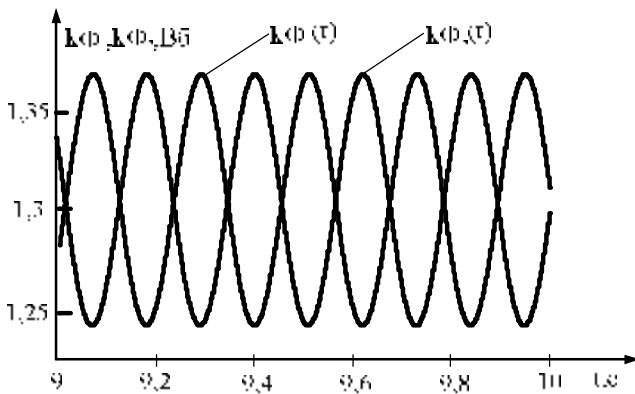


Рисунок 3 – Графики мгновенных значений магнитных потоков исследуемого двигателя и компенсатора для первого случая

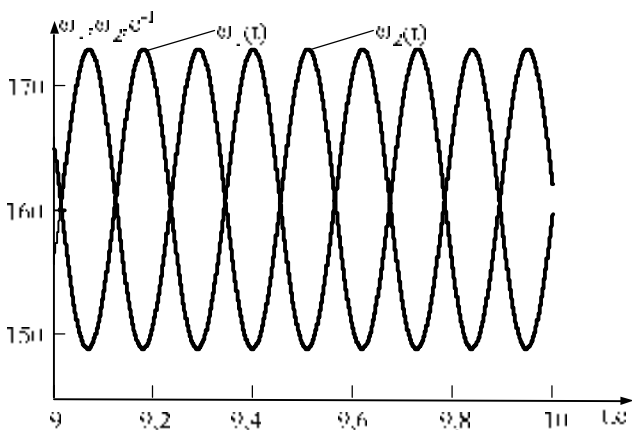


Рисунок 4 – Графики мгновенных значений частот вращения исследуемого двигателя и компенсатора для первого случая

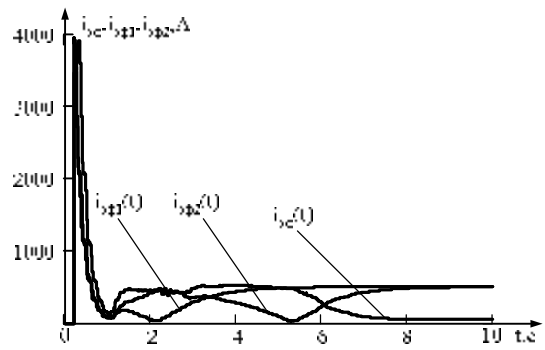


Рисунок 5 – Графики эффективных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для первого случая

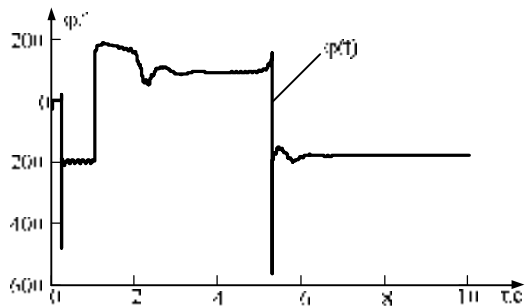


Рисунок 6 – График оптимального угла сдвига управляющих сигналов, подаваемых на обмотки возбуждения для первого случая

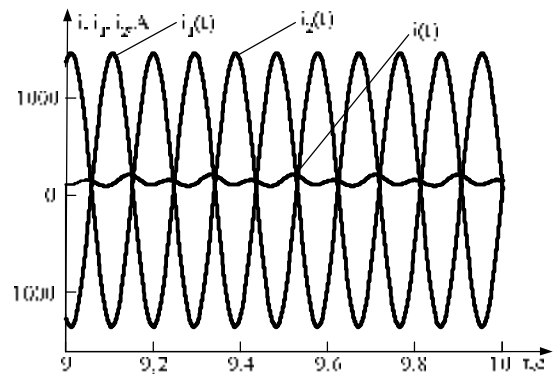


Рисунок 7 – Графики мгновенных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для второго случая

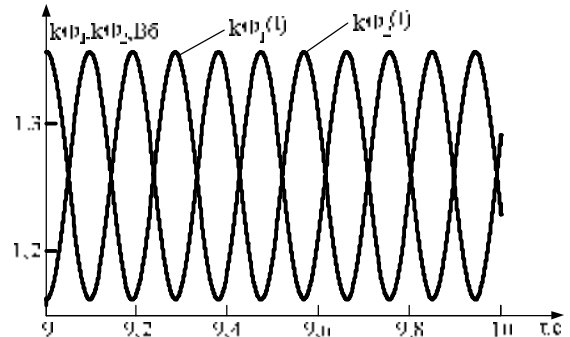


Рисунок 8 – Графики мгновенных значений потоков исследуемого двигателя и компенсатора для второго случая

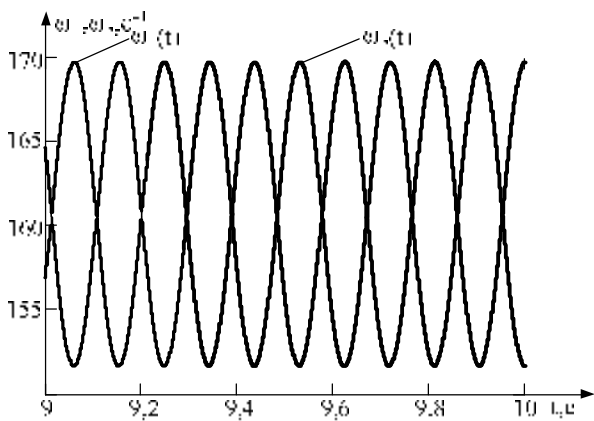


Рисунок 9 – Графики мгновенных значений частот вращения исследуемого двигателя и компенсатора для второго случая

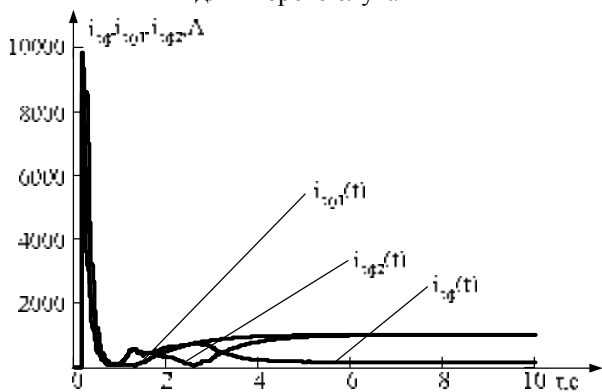


Рисунок 10 – Графики эффективных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для второго случая

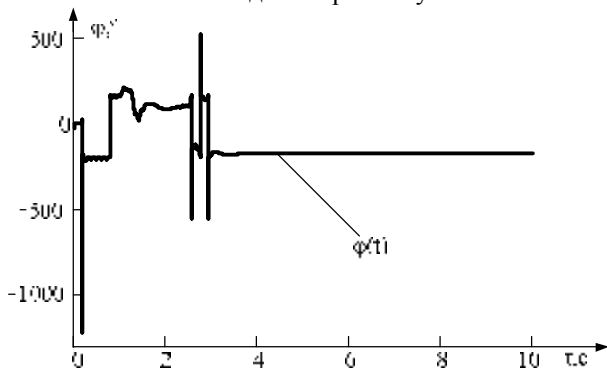


Рисунок 11 – График оптимального угла сдвига управляющих сигналов, подаваемых на обмотки возбуждения для второго случая

Выводы. В случае, когда номинальные параметры исследуемой машины и компенсатора средней мощности (110кВт и 210кВт) одинаковы, достигается режим компенсации, при котором потребляемый эффективный ток источника питания имеет минимальное и знакопостоянное значение. Система управления с экстремальным регулятором при нахождении угла между управляющими сигналами, подаваемыми на обмотки возбуждения в двух случаях устанавливается на значении -180° для МПТ средней мощности (рис. 6, 11) (аналогично как и для машин малой мощности [6]). Характер изменения графиков для двух случаев одинаков (рис.2 – 11). В ходе исследований установлено, что математическая модель замкнутой СДН с НКУ позволяет исследовать двигатели не только малой (до 17 кВт), но и средней мощности (до 210 кВт).

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.
2. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах: Учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 159 с.
3. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В. Накопители энергии: Учеб. пособие для вузов. Под ред. Д.А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
4. Ломонос А.И., Бялобржеский А.В. Принципы построения регулятора нагрузки системы испытания машин постоянного тока с электромеханическим накопителем энергии // Вісник КДПУ, 2005, вып. 4. – С.47–52.
5. Ломонос А.И. Система экстремального управления взаимным нагружением машины постоянного тока // Наукові праці ДНТУ. Серія: „Електротехніка і енергетика”, випуск 8(140). – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – С.31–37.
6. Сулим А.А., Ломонос А.И. Исследование процессов в системе динамического нагружения машины постоянного тока с электромеханическим накопителем в якорной цепи. // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ. – 2008. – Вип. 3/2008(50), ч.2. – С.105–112.

Стаття надійшла 06.09.2008 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Каліновим А.П.