

УДК 621.316.761.2.001.573:[621.3.016.352:621.313.2]

Сулим А.А.¹, Ломонос А.И.²

¹ ГП «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения». Украина, Кременчуг.

² Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского. Украина, Кременчуг

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

Анотація

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

Abstract

The layout of the closed system of the dynamic loading with the electromechanical compensator is presented in this work. The mathematical model of the system on the basis of this layout has been produced in the package of MatLab. The compensation mode with the same nominal parameters of the electrical machines of the average power has been researched with the usage of the mathematical model.

В последнее время во всех областях техники 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 определе-

ния 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.

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 и 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 тока, 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 достигнет 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 определение 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.

В работе [5] СДН описывается системой дифференциальных уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 U(t) &= I_{\Sigma}(t) \cdot R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \cdot \frac{dI_{\Sigma}(t)}{dt} + I_{\alpha 1}(t) \cdot R_{\alpha 1} + \\
 &+ L_{\alpha 1} \cdot \frac{dI_{\alpha 1}(t)}{dt} + k\Phi_1(t) \cdot \omega_1(t); \\
 U(t) &= I_{\Sigma}(t) \cdot R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \cdot \frac{dI_{\Sigma}(t)}{dt} + I_{\alpha 2}(t) \cdot R_{\alpha 2} + \\
 &+ L_{\alpha 2} \cdot \frac{dI_{\alpha 2}(t)}{dt} + k\Phi_2(t) \cdot \omega_2(t); \\
 I_{\Sigma}(t) &= I_{\alpha 1}(t) + I_{\alpha 2}(t); \quad E_1(t) = k\Phi_1(t) \cdot \omega_1(t); \\
 E_2(t) &= k\Phi_2(t) \cdot \omega_2(t); \quad k\Phi_1 = c_1(I_{\beta 1}); \quad k\Phi_2 = c_2(I_{\beta 2}); \\
 U_{\beta 1}(t) &= I_{\beta 1}(t) \cdot R_{\beta 1} + \frac{d}{dt} \{L_{\beta 1}(I_{\beta 1}) \cdot I_{\beta 1}\}; \\
 U_{\beta 2}(t) &= I_{\beta 2}(t) \cdot R_{\beta 2} + \frac{d}{dt} \{L_{\beta 2}(I_{\beta 2}) \cdot I_{\beta 2}\}; \\
 I_{\alpha 1}(t) \cdot k\Phi_1(t) &= M_{01}(t) + J_1 \cdot \frac{d\omega_1(t)}{dt}; \\
 I_{\alpha 2}(t) \cdot k\Phi_2(t) &= M_{02}(t) + J_2 \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где E_{Σ} , R_{Σ} и X_{Σ} — Э.Д.С., активное и индуктивное сопротивления источника питания соответственно; $R_{\alpha 1}$ и $X_{\alpha 1}$ — активное и индуктивное сопротивления испытуемой машины; $R_{\alpha 2}$ и $X_{\alpha 2}$ — активное и индуктивное сопротивления накопителя-компенсатора; $k\Phi_1(t)$, $k\Phi_2(t)$ — коэффициенты магнитного потока испытываемой машины и компенсатора; $U_{\beta 1}(t)$, $U_{\beta 2}(t)$, $I_{\beta 1}(t)$, $I_{\beta 2}(t)$ — напряжения и токи в цепях возбуждения электрических машин; $R_{\beta 1}$, $R_{\beta 2}$, $L_{\beta 1}$, $L_{\beta 2}$ — активные сопротивления и индуктивности в цепях возбуждения электрических машин; c_1 , c_2 — конструктивные коэффициенты машин; $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$ — 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: $M_{01}(t) = a_1 \cdot \omega_1(t)$, $M_{02}(t) = a_2 \cdot \omega_2(t)$, где a_1 , a_2 — коэффициенты моментов механического сопротивления вращению.

На основании системы дифференциальных уравнения (1) с помощью передаточных звеньев в пакете MatLab составлена математическая модель замкнутой СДН с НКУ, структурная схема которой изображена на рис. 1 [5]. 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: $P_H = 110$ кВт, $R_{\alpha} = 9$ м Ом, $L_{\alpha} = 0,9$ мГн, $J = 2,57$ кг·м², $I_{\alpha} = 508$ А, $U_{\alpha} = 220$ В, $k\Phi_H = 1,37$ Вб, $a = 0,02324$ в первом случае и $P_H = 210$ кВт, $R_{\alpha} = 5,2$ м Ом, $L_{\alpha} = 0,2919$ мГн, $J = 5,75$ кг·м², $I_{\alpha} = 1$ кА, $U_{\alpha} = 220$ В, $k\Phi_H = 1,37$ Вб, $a = 0,1$ — во втором.

В ходе исследований на математической модели фиксировались временные зависимости в установившемся режиме: мгновенных значений токов, магнитных потоков, частот вращения, эффективных значений токов электрических машин, а также мгновенное и эффективное значения тока источника питания, оптимальный угол сдвига управляющих сигналов, подаваемых на обмотки возбуждения обеих машин (рис. 2–6).

Выводы

В случае, когда номинальные параметры исследуемой машины и компенсатора средней мощности (110 кВт и 210 кВт) одинаковы, достигается режим компенсации, при котором потребляемый эффективный ток источника питания имеет минимальное и знакопостоянное значение. Система управления с экстремальным регулятором при

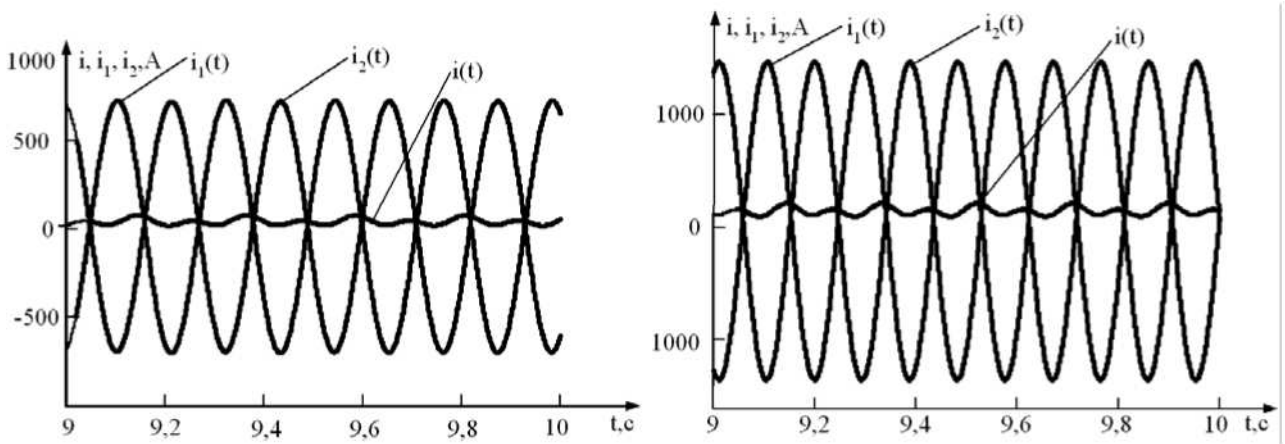


Рис. 2. Графики мгновенных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для первого и второго случая

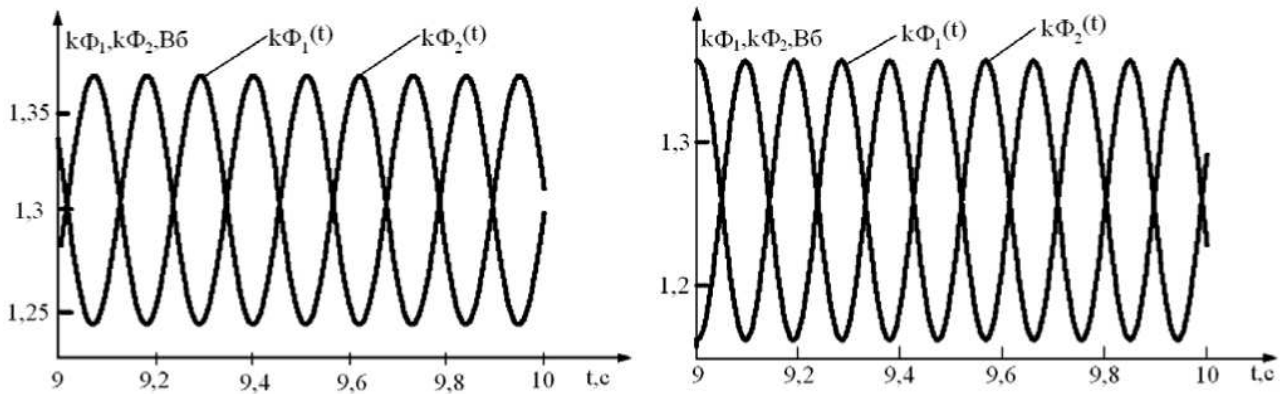


Рис. 3. Графики мгновенных значений магнитных потоков исследуемого двигателя и компенсатора для первого и второго случая

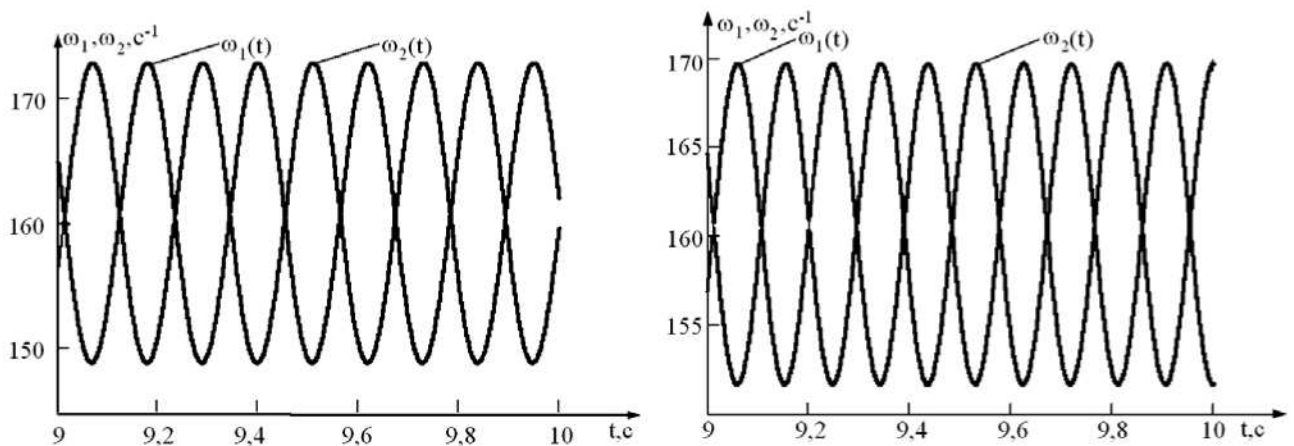


Рис. 4. Графики мгновенных значений частот вращения исследуемого двигателя и компенсатора для первого и второго случая

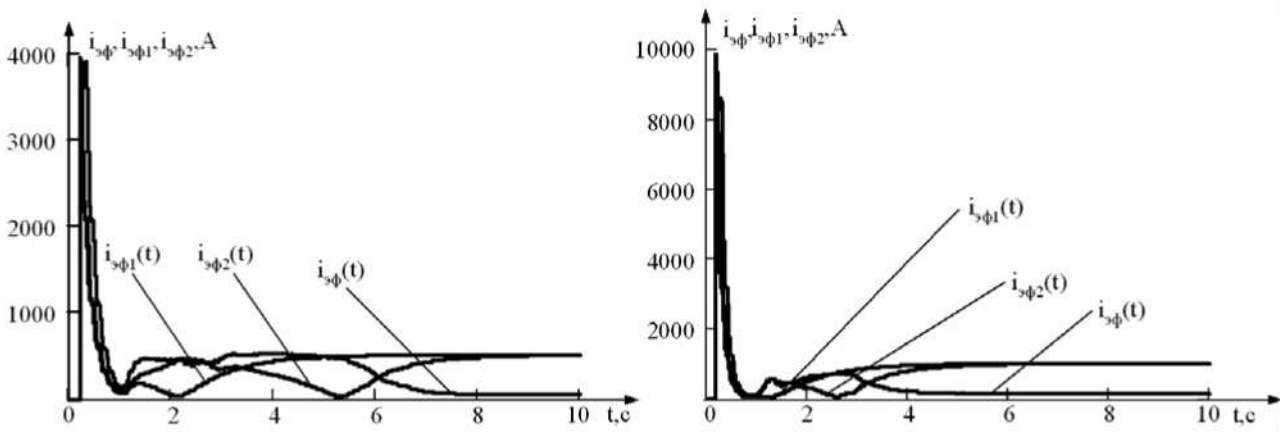


Рис. 5. Графики эффективных значений токов исследуемого двигателя, компенсатора и источника питания для первого и второго случая

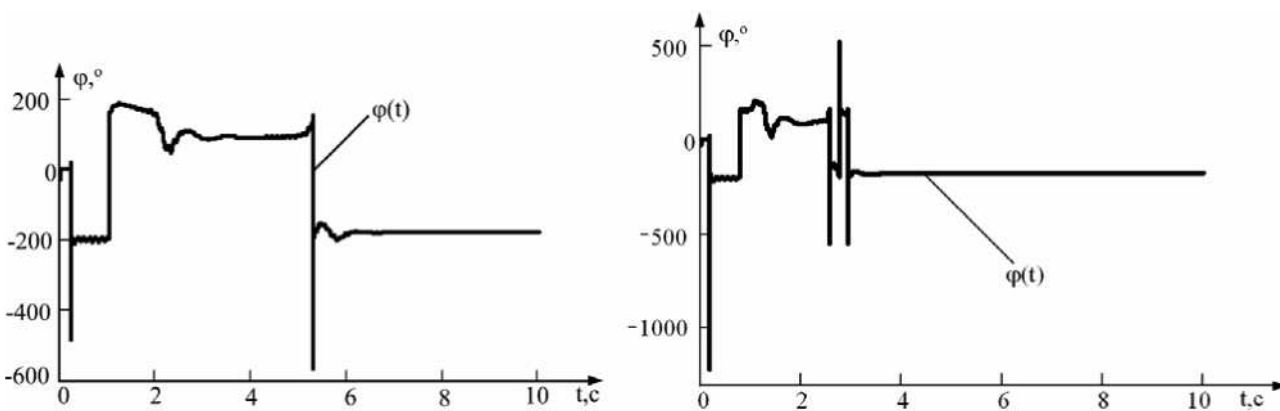


Рис. 6. График оптимального угла сдвига управляющих сигналов, подаваемых на обмотки возбуждения для первого и второго случая

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 испыта-

ния 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.