

где $n = 1,3-1,5$ – показатель степени; f_k – частота пульсаций тока САК; $B_n, B_n, I_0, I_{\sigma n}$ – индукция и токи намагничивания в рассматриваемом и номинальном режимах.

Выводы. Потери в стали трансформатора от пульсирующего тока САК могут быть определены разделением этого тока на активную и реактивную составляющие на основании неравномерного распределения индукции магнитного поля по сечению листа, вызванного затуханием электромагнитной волны и, следовательно, уменьшением среднего значения индукции магнитного поля.

Мощность от пульсирующей составляющей тока САК, поглощаемая объемом стали трансформатора, пропорциональна максимальному значению электромагнитной энергии, обусловленной этим током, и частоте коммутации ключей инвертора, растет с уменьшением глубины проникновения электромагнитной волны.

Список литературы

1. Круг К.А. Основы электротехники. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1952. – 432с.
2. Аркадьев В.К. Электромагнитные процессы в металлах // Ч.2. Электромагнитное поле. Применение теории Максвелла к рациональному использованию металлов в электротехнике. – М.-Л.: ОНТИ, 1936. – 324 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.
4. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Ч.1 и 2. – М.-Л.: Энергия, 1966.

На основі аналізу схеми заміщення й векторної діаграми трансформатора в режимі змушеного намагнічування вторинної обмотки пульсуючої складової

струму силового активного компенсатора отримана методика розрахунку втрат у сталі трансформатора від пульсуючої складової струму силових активних компенсаторів по дії, що розмагнічує, вихрових струмів з урахуванням нерівномірного розподілу індукції по перерізу листа. Встановлено, що потужність від пульсуючої складової струму САК, що поглинається обсягом сталі трансформатора, пропорційна максимальному значенню електромагнітної енергії, обумовленої цим струмом, і частоті комутації ключів інвертора, росте зі зменшенням глибини проникнення електромагнітної хвилі.

Ключові слова: активний компенсатор, втрати в сталі, пульсації струму

On the basis of analysis of chart of substitution and vector diagram of transformer in the mode of the forced magnetizing of secondary winding of pulsating constituent of current of power active compensator it has been got the methods of calculation of losses in steel of transformer from the pulsating constituent of current of power active compensators on the demagnetizing action of vertical currents taking into account uneven distribution of induction on the section of sheet. It has been set that power from the pulsating constituent of current PAC, taken in by volume of transformer's steel, proportional to the maximal value of electromagnetic energy, conditioned by this current, and frequency of commutation of the keys of inverter, grows with diminishing of depth of penetration of hertzian wave.

Keywords: active compensator, iron loss, current pulsation

Рекомендовано до публікації д.т.н. Ф.П. Шкрабцом 08.04.10

УДК 62-83

© Файнштейн В.Г., Цветнов В.А., Рогальская Р.В., 2010

В.Г. Файнштейн, В.А. Цветнов, Р.В. Рогальская

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

V.G. Fainshtein, V.A. Tsvetnov, R.V. Rogalskaya

ANALYSIS OF DYNAMIC MODES OF THE MULTIMOTOR DRIVE

Предложена методика анализа и синтеза системы управления многодвигательным электроприводом, позволяющая дать оценку влияния на работу электроприводов отклонения параметров в системах управления отдельными двигателями, входящими в многодвигательную систему, и оценить различные способы уменьшения влияния разброса этих параметров на динамические и статические характеристики многодвигательной электромеханической системы. Влияния отклонения коэффициента усиления в цепи обратной связи индивидуального регулятора скорости привода одного или нескольких двигателей на величину упругого момента в каналах каждого привода.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, динамические режимы, методика исследования, системы управления, момент упругой связи, погрешность коэффициентов, выравнивание нагрузки

Многодвигательный электропривод находит достаточно широкое применение для различного рода

технологических агрегатов, например, электропривод шагающих и карьерных экскаваторов, электропривод

поворота конверторов для плавки стали и т.д. В общем случае n двигателей, работающих на общую нагрузку, имеют индивидуальные источники питания с системами регулирования. Моменты двигателей суммируются посредством механических устройств, например, редуктор с n -входными валами и одним валом на выходе, к которому подключается рабочий орган. Между валом двигателя и валом суммирующего устройства возможна установка дополнительного редуктора, и соединение валов дополнительного редуктора и суммирующего устройства в общем случае содержит упругий элемент.

Как правило, в таких многодвигательных системах используется однотипное электрическое и механическое оборудование одного типа. Однако параметры оборудования из-за погрешностей при изготовлении, износе и старении элементов в отдельных каналах системы могут отличаться друг от друга. Поэтому выполнение анализа динамических свойств системы простой заменой её эквивалентной, однодвигательной допустимо только в случае идентичности параметров всех электроприводов.

С увеличением количества двигателей, работающих на общую нагрузку, увеличивается порядок системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы в динамических режимах. Поэтому анализ многодвигательных систем в динамике осуществлялся в основном на математических моделях [1]. В работе [2] предложен метод оптимизации регуляторов отдельных двигателей в несколько этапов: на первом этапе определяются параметры в предположении, что двигатели работают автономно, на следующих этапах эти параметры уточняются, анализируя передаточные функции, связывающие процессы в канале i -го двигателя с процессами в канале остальных двигателей, т.е. в общем виде анализ системы практически невозможен.

Цель исследований – создание методики анализа и синтеза системы управления многодвигательным электроприводом, позволяющей дать оценку влияния на работу электроприводов отклонения параметров в системах управления отдельными двигателями, входящими в многодвигательную систему, и сравнить различные способы уменьшения влияния разброса этих параметров на динамические и статические характеристики электромеханической системы.

Пусть каждый двигатель в многодвигательной системе имеет типовую структуру подчиненной системы регулирования, которая приведена на рис. 1.

Схема составлена в предположении, что передача момента идеальна, т.е. отсутствуют кинематические погрешности. Аналогичная задача решается в технике управления электрическими генераторами, работающими на общую нагрузку [3], где упрощение достигается путем разбиения движения в системе на две составляющие: усредненное и относительное. Ниже этот прием предлагается использовать в многодвигательной электромеханической системе.

Дан пример использования этого метода для идеальной системы многодвигательного привода (отсутст-

вуют зазоры в передачах, потери на трение в подшипниках и т.д.) при отклонении коэффициентов передачи в цепи обратной связи по скорости каждого двигателя.

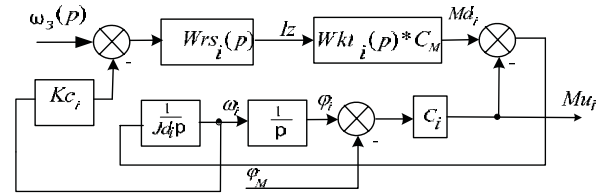


Рис. 1. Типовая структура подчиненной системы регулирования скорости: ω_3 – общее для всех двигателей задание угловой скорости вала; $Wrs_i(p)$ – передаточная функция регулятора скорости; $Wkt_i(p)$ – передаточная функция контура тока; Jd_i – суммарный приведенный момент инерции всех движущихся частей до механического узла суммирования моментов двигателей; π_i – приведенный угол поворота вала на входе суммирующего узла; Mi_i – упругий момент механического канала связи двигателя с устройством, суммирующим моменты, далее «упругий момент», Md_i – момент на валу двигателя; C_i – приведенное значение жесткости упругой связи; π_M – приведенный угол поворота вала рабочего органа; Kc_i – коэффициент передачи датчика скорости i -го привода

Пусть Y_{ki} – координата k i -го электропривода из n параллельно работающих электродвигателей. Это может быть, например, скорость вращения, ток i -го электродвигателя, угол закручивания вала редуктора этого двигателя и т.п. Усредненным значением k -й однотипной координаты Y_{ki} параллельных каналов в общей структурной схеме многодвигательного электропривода будет величина:

$$Y_k^2 \mid \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{ki} ,$$

т.е. среднее значение величин Y_{ki} .

Относительным значением k -й однотипной координаты $Y_{ki}(X_{ki})$ будет отклонение величины $Y_{ki}(X_{ki})$ от её среднего значения или

$$Y_{ki}^4 \mid Y_k^2 \cdot 4 Y_{ki} ; X_{ki}^4 \mid X_k^2 \cdot 4 X_{ki} . \quad (1)$$

В каждом канале изображение координаты $Y_{ki}(p)$ связано с изображением входной величины $X_{ki}(p)$ передаточной функцией $W_{ki}(p)$. Передаточная функция

$W_{ki}(p)$ дробно-рациональная, возможна некоторая вариация коэффициента a_q полинома числителя или знаменателя, т.е. значения этого коэффициента различны для передаточных функций отдельных каналов. Известно типовое (среднее) его значение и возможное отклонение его от среднего значения, далее будем обозначать $W_k^2(p)$ передаточной функцией при усреднённых значениях коэффициентов, а отклонение выходной координаты из-за возможной вариации коэффициента определять с помощью функции чувствительности $F_{kq}(p)$ [4] передаточной функции $W_k^2(p)$:

$$F_{kq}(p) \Big| \lim_{\Delta a_q \downarrow 0} \frac{\in W_k^2(p, a_q)}{\in a_q}$$

Откуда в нашем случае:

$$Y_{ki}(p) = X_{ki}(p) (W_k^2(p) \cdot F_{kq}(p) \cdot a_q)$$

Подставляя значение X_{ki} согласно (1) и учитывая, что произведение $X_{ki}^4 \cdot a_q$ – величина второго порядка малости,

$$Y_{ki}(p) \Big| X_k^2(p) (W_k^2(p) \cdot F_{kq}(p) \cdot a_q) \cdot 4 X_{ki}^4 W_k^2(p) \tag{2}$$

Из (2) найдем среднее значение $Y_{ki}(p)$. Так как по

определению: $\frac{1}{n} X_{ki}^4(p) \Big| 0$ и $\frac{1}{n} a_{ki} \Big| 0$, то

$$Y_k^2(p) \Big| X_k^2(p) (W_k^2(p))$$

Относительное значение координаты:

$$Y_k^4(p) \Big| X_k^2(p) (F_{kq}(p) \cdot a_q) \cdot 4 X_{ki}^4 W_k^2(p)$$

На основании предложенного приема далее рассмотрены динамические процессы в линейной многодвигательной системе, где моменты каждого двигателя механически суммируются для привода общей нагрузки.

Структурная схема, иллюстрирующая работу суммирующего устройства и общей нагрузки, дана на рис. 2.

Где ω_M – угловая скорость рабочего органа механизма, приведенная к валу двигателя; J_M – суммарный, приведенный к валу двигателя момент инерции движущихся частей рабочего органа механизма.

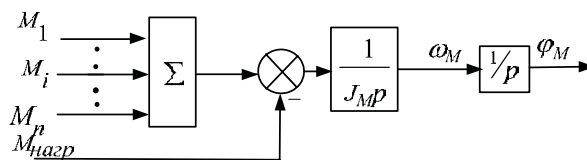


Рис. 2. Структурная схема суммирующего устройства общей нагрузки для анализа работы многодвигательного электропривода

Найдем передаточные функции, связывающие изменение скорости и момента на выходе упругого элемента (см. рис. 1), с изменением задания скорости и угла π_M для стандартной двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости с ПИ-регулятором скорости, в которой передаточная функция контура тока $W_{kp_i}(p) \Big| \frac{1/K_{ДТ}}{T_T p + 1}$, передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{pp_i}(p) \Big| \frac{J_S K_{ДТ}}{K_M K_{ДС} (2T_T)}$$

где $K_{ДТ}, K_{ДС}$ – расчетные значения коэффициентов передачи датчиков тока и скорости; T_T – постоянная времени контура тока; K_M – постоянная электродвигателя, равная отношению его момента к току якоря; $J_S \Big| J_d + 2 J_M$ – суммарный момент инерции; J_M – приведенный момент инерции рабочего органа; J_d – суммарный момент инерции всех вращающихся частей до узла суммирования моментов.

Обозначим $\chi \Big| J_d/J_s$ и для удобства анализа преобразуем структурную схему рис. 1, к виду рис. 3, где:

$$W1(p)_i \Big| \frac{J_d p}{2 \theta T_T^2 p^2 + 2 \theta T_T p + 2 I} \tag{3}$$

$T_d \Big| \sqrt{\frac{C}{J_d}}$ – собственная частота колебаний приведенной массы в канале одного двигателя при жестко закреплённом выходном валу суммирующего механизма.

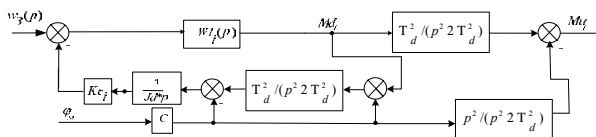


Рис. 3. Преобразование системы регулирования скорости

Рассмотрим влияние отклонения коэффициента передачи датчика скорости i -го привода от его среднего значения в многодвигательном приводе, которая принята за расчетное значение коэффициента передачи датчика скорости. Тогда, если $\zeta_i \mid (Kc_i \cdot 4 K_{DC}) / (K_{DC})$, то передаточная функция (3) принимает вид:

$$W1(p) \mid \frac{J_d p}{2 \theta T_T^2 p^2 \cdot 2 \cdot 2 \theta T_T p \cdot 2 \cdot 12 \zeta_i}$$

функция чувствительности $W1$ к изменению ζ_i

$$F1(p, \zeta) \mid 4 \frac{J_d p}{2 \theta T_T^2 p^2 \cdot 2 \cdot 2 \theta T_T p \cdot 2 \cdot 1} \Delta \frac{1}{2 \theta T_T^2 p^2 \cdot 2 \cdot 2 \theta T_T p \cdot 2 \cdot 1} \quad (4)$$

Для определения влияния величины α на переходные процессы с учетом (4) структурная схема для каждого привода имеет вид, приведенный на рис.4.

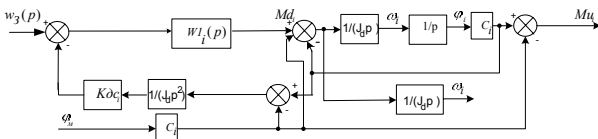


Рис. 4. Структурная схема, описывающая связь между упругим моментом i -го канала, заданием скорости и приведенным углом поворота вала рабочего органа

Обозначив $r \mid \frac{2 \theta T_T C_i}{J_d} \mid 2 \theta T_T T_d^2$;

$$D(p) \mid 2 \theta T_T^2 p^3 \cdot 2 \cdot 2 \theta T_T p^2 \cdot 2 \cdot p (12 T_T \hat{r}) 2 r,$$

$$D1(p) \mid 2 \theta T_T^2 p^3 \cdot 2 \cdot 2 \theta T_T p^2 \cdot 2 \cdot p T_T \hat{r} 2 r. \quad (5)$$

Преобразовав структуру рис. 4, получаем структурные схемы для расчета усредненного (рис. 5, а) и относительного движений (рис. 5, б) при $K_{DC} = 1$.

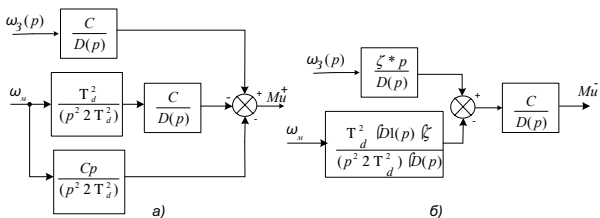


Рис. 5. Структурные схемы для расчета усредненного (а) и относительного движений (б)

В усредненном движении переходные процессы эквивалентны однодвигательному приводу, где момент двигателя увеличен в n раз. Они достаточно

подробно рассмотрены в [1], поэтому далее остановимся на анализе относительного движения. Рассмотрим это движение при установившейся скорости механизма. Поскольку в цепи сигнала $\omega_3(p)$ установлен дифференциатор, то в установившемся режиме по скорости $\omega_3 \mid \text{const}$ и его влияние на распределение моментов между различными каналами механической части отсутствует. Следовательно, в установившемся режиме изображение упругого момента каждого канала для относительного движения записывается в виде:

$$Mu^4(p) \mid 4 \frac{C \hat{T}_d^2}{p^2 \cdot 2 T_d^2} \left[\frac{D1(p)}{[D(p)]^2} \right] \zeta \omega_M(p). \quad (6)$$

В общем случае в кривой $\omega_M(t)$ в установившемся режиме присутствуют две составляющие: постоянная ω_0 и переменная $\delta\omega(t)$. Последняя – затухающая синусоидальной формы с амплитудой A_{ω} . Постоянная составляющая:

$$Mu0^4 \mid \lim_{p \rightarrow 0} p \hat{Mu}^4(p) \frac{\omega_0}{p},$$

откуда из совместного решения (5) и (6) при $p=0$ получаем:

$$Mu0^4 \mid 4 \frac{J_s}{2 T_T} \zeta \omega_0.$$

Таким образом, величина разницы между упругим моментом одного канала и средним значением упругого момента всех каналов многодвигательной системы увеличивается с повышением коэффициента усиления регулятора скорости. Это согласуется с известным положением – при параллельной работе электродвигателей одинакового типа с линейной механической характеристикой, ошибка в распределении моментов нагрузки между ними обратно пропорциональна величине жесткости механической характеристики. Можно предположить, что ПИИ-регулятор скорости в рассматриваемом случае не обеспечит устойчивого значения упругого момента в относительном движении.

Для определения колебательной составляющей в упругом моменте относительного движения построим амплитудно-частотные характеристики передаточной функции, связывающей $Mu^4(p)$ с $\omega_M(p)$.

При этом введен масштаб времени $M_t \mid \frac{1}{T_T}$ и масштаб амплитуды $M_A \mid C \zeta$. Характеристики, приведенные на рис. 6, рассчитывались для различных значений χ и $\omega_d \mid T_T \hat{T}_d$.

Рассчитав усредненное движение и частоту колебаний скорости механизма, по амплитудно-частотным характеристикам определяется амплитуда колебаний упругого момента для относительного движения. Из анализа амплитудно-частотных можно сделать вывод, что резонанс возможен, когда частота

колебаний скорости механизма $\bar{\omega}_M - T_d$, причем существенное увеличение амплитуды наблюдается при $\bar{\omega}_M \gg 10/T_T$.

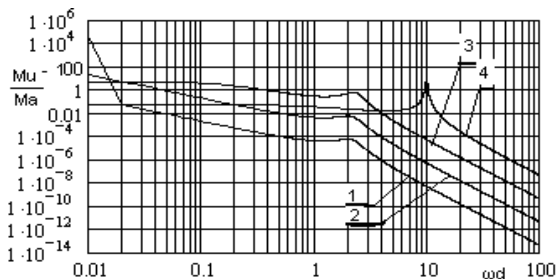


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики передаточной функции (12) для относительного движения в зависимости от собственной частоты колебаний момента упругой связи ω_d при $\chi = 0,5$: 1 – $\omega_d = 0,01p/c$; 2 – $\omega_d = 0,1p/c$; 3 – $\omega_d = 1p/c$; 4 – $\omega_d = 10p/c$

С увеличением частоты колебаний $\bar{\omega}_M$ амплитуда колебаний Mu^4 уменьшается. Частота колебаний Mu^2 , а соответственно $\bar{\omega}_M$ при высоких частотах меньше чем T_d , откуда резонанс возможен, когда $J_d \gg J_M$ и частота колебаний меньше $10/T_T$.

Существенное влияние на уменьшение величины амплитуды коэффициент χ оказывает при $\chi < 0,15$. Величина амплитуды колебаний $\bar{\omega}_M$ в сравнении с $\bar{\omega}_0$ мала. Она значительно увеличивается при $\theta \downarrow 1$ [1].

Для большинства многодвигательных механизмов можно пренебречь амплитудой колебаний упругого момента в относительном движении при отклонении коэффициента передачи датчика скорости i -го двигателя от среднего значения для всех двигателей многодвигательной системы.

В качестве примера рассмотрим некоторые вопросы выравнивания нагрузок между отдельными каналами. С этой целью вводится обратная связь по относительному движению одного из параметров системы регулирования на вход регулятора основного параметра [3]. В нашем случае это может быть связь по отклонениям от средних значений скорости, тока, упругого момента.

При относительно больших коэффициентах жесткости упругих связей в механической части многодвигательного электропривода разность скорости отдельных двигателей между собой и скоростью механизма, приведенной к валу двигателя, незначительна, выравнивание нагрузок по отклонению скоростей не даст существенного эффекта. Наиболее технически просто выравнивание нагрузок может быть выполнено путем ввода на вход регулятора скорости отклонения момента (тока) двигателя от среднего значения момента (тока) двигателей всех каналов, как показано на рис. 7.

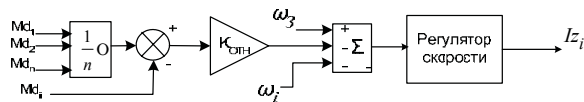


Рис. 7. Схема выравнивания нагрузок между отдельными двигателями

Если рассматривать ток якоря, то его величина в относительном движении определяется из операторного равенства, на основании величины среднего значение якорных токов всех двигателей, входящих в многодвигательную систему:

$$I_i^4 \mid \frac{(K_{отн}/K_{дс}) \int J_D \int p}{2\theta T_T^2 p^2 2(2\theta 2Kv)T_T p 2 1} \hat{I}_i^2, \quad (7)$$

где $Kv \mid J_D K_{отн} / 2T_T K_{дс}$.

Если $Kv \gg 2T_T^2 \theta$, звено с передаточной функцией (7) можно приближенно заменить аperiodическим звеном с передаточной функцией:

$$W(p) \mid \frac{(K_{отн}/K_{дс}) \int J_D}{p 2 Kv}$$

и в установившемся режиме:

$$I_i^4 \mid \frac{2T_T}{\theta} \hat{I}_i^2.$$

Если условие $Kv \gg 2T_T^2 \theta$ не выполняется, то в установившемся режиме $I_i^4 = 0$, но, в связи с дифференцированием усредненного значения тока, увеличивается колебательная составляющая, однако при практической реализации повышается чувствительность к помехам.

Более точные результаты можно получить, рассчитав параметры усредненного движения, а затем параметры относительного движения по (7).

Выравнивание упругих моментов по их отклонению от среднего значения без применения корректирующих звеньев опасно, так как в канале управления относительного движения оказываются включенными последовательно два интегратора, что приводит к потере устойчивости всей системы управления многодвигательным приводом. Этот вопрос требует дополнительного исследования и из-за ограниченного объема в данной работе не приводится.

Выводы. Деление движения в многодвигательной системе на две составляющие (усредненное и относительное), анализ процессов в системе сводится к анализу эквивалентной однодвигательной системы с усредненными параметрами и оценке отклонения координат в каждом отдельном электромеханическом канале от усредненных значений. При этом количество рассматриваемых дифференциальных уравнений

сокращается в n раз и некоторые результаты решения можно получить в общем виде.

Список литературы

1. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
2. Дж. Н. Довчири. Многодвигательный автоматизированный электропривод с упругими Связями // Радиоэлектроника. Информорматика. Управління. – 2001. – №2. – 114 с.
3. Томович Р., Вакубратович М. Общая теория чувствительности: Пер. с сербс. и с англ.; Под. ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Советское радио, 1972. – 240 с.
4. Москалев А.Г. Автоматическое регулирование режима энергетической системы по частоте и активной мощности. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 351 с.

Запропоновано методику аналізу та синтезу системи керування багатодвигунним електроприводом, яка дозволяє виконати аналіз впливу на роботу електроприводів відхилення параметрів в системах керування окремими двигунами, що входять у багатодвигунну систему, та дати оцінку різноманітним способам зменшення впливу відхилення їх параметрів від середніх значень на динамічні і статичні характеристики багатодвигунної електромеханічної системи. В якості прикладу застосування запропонованої методики виконаний аналіз впливу відхилення коефіцієнта підсилення у колі зворотного

зв'язку індивідуального регулятора швидкості приводу одного або декількох двигунів на величину пружного моменту у каналах кожного приводу.

Ключові слова: багатодвигунний електропривод, динамічні режими, методика дослідження, системи керування, момент пружного зв'язку, похибка коефіцієнтів, вирівнювання навантаження

The technique of the analysis and synthesis of the control system of the multimotor drive has been offered. The method allows estimating the influence of a deviation of the parameters of the control systems of each separate engine on the action of electric drives entering into multiengine system. Also it makes possible to estimate various ways of reduction of such influence of deviation of these parameters on dynamic and static characteristics of multimotor electromechanical system. As an example of application of the offered technique the analysis of influence of deviation of the rate of the gain in a chain of feedback of an individual regulator of speed of a drive of one or several engines on size of the elastic moment in channels of each drive has been made.

Keywords: multimotor drive, dynamic modes, technique of research, control system, moment of elastic communication, error of factors, loading alignment

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.Д. Учителем 11.05.10

Національний гірничий університет пропонує інноваційний проект

СИСТЕМА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДОБУВАННЯ, ОБРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ У БУДІВНИЦТВІ НОВИХ ДЕКОРАТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Автори: Хоменко О.Є, канд. техн. наук, доц., Шевченко С.В, канд. геол. наук, доц., Нетеча М.В., провідний інженер.

Спрямованість проекту: розробка та апробація технологій видобування, обробки та використання криворізьких джеспілітів у інноваційних проектах будівництва.

Сфера застосування: гірничі підприємства з підземним видобуванням рудних корисних копалин, каменю-обробна і будівельна промисловості.

Короткий опис: одним із унікальних декоративних корисних копалин, що доцільно використовувати у будівництві, є криворізькі джеспіліти. Вони мають найкращі в Україні художньо-декоративні, ресурсозберігаючі та конкурентоспроможні властивості. Доцільне об'єднання технологій видобування, обробки та використання джеспілітів у будівництві в систему ресурсозберігаючих технологій.

Основні техніко-економічні характеристики: річний економічний ефект при видобуванні блоків джеспіліту розміром 1,5x1,5x1,5 м в обсязі 12,8 тис. шт. на рік дорівнює близько 21 млн EURO, при безвідходній обробці джеспілітів – 5 тис. EURO на рік, при використанні у будівельних проектах – не перевищує 50 тис. EURO на один інноваційний проект.

Вартість: вартість розробки системи технологій для умов замовника – 50 тис. EURO.

Термін реалізації та окупності: при одночасному впровадженні систем технологій на одній шахті з закупівлею необхідного каменю-обробного устаткування окупність здійсниться за один календарний рік.

Контакти: тел.: +38(056)7446214, факс: +38(0562)473209, e-mail: homenkoO@nmu.org.ua