

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КЛЕТИ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

При проектировании и эксплуатации главных электроприводов клетей прокатных станов важной задачей является нахождение фактических динамических нагрузок электрического и механического оборудования. Основные нагрузки в главных электроприводах клетей создаются моментами упругих сил механической передачи в режимах ударного захвата и выброса металла. Динамические нагрузки колебательного характера приводят к резкому сокращению срока службы деталей механической передачи по износу и выносливости и отклонению процессов от предписанных технологией.

В качестве фактора ограничения динамических нагрузок широко используется на практике демпфирующий эффект электропривода [1]. Для главных электроприводов клетей станов горячей прокатки с двигателями постоянного тока снижение колебательности моментов в упругой механической передаче может быть достигнуто за счет формирования оптимальной жесткости механической характеристики электропривода [2]. Методы оптимизации электромеханических систем главного привода клетей станов горячей прокатки основаны на усилении электромеханической связи [3], использовании принципа электромеханической совместимости [4] и синтезе параметров с целью минимизации реакции электропривода на действие колебаний момента упругой механической части как внешнего возмущения.

В настоящее время широкое применение для главных приводов клетей прокатных станов находит синхронный электропривод с частотным регулированием. Структура таких электроприводов реализует стратегию подчиненного регулирования с широким диапазоном регулирования и высокими динамическими показателями [5]. Но в электроприводах металлургических машин применение синхронных двигателей ограничено из-за роста дополнительных динамических нагрузок [6].

Расчет динамических нагрузок в главных электроприводах с синхронными двигателями представляет собой сложную задачу и анализ переходных процессов с целью снижения колебательности выполняют при условии линеаризации динамической механической характеристики [7].

В данной работе рассматривается актуальная задача оптимизации динамики электропривода с синхронным двигателем по критерию минимума колебательности. Электропривод в статическом режиме имеет абсолютно жесткую механическую характеристику, и при наличии демпферной обмотки в динамике создает эффект внутреннего вязкого трения, вносимого в упругую механическую подсистему [7]. Структурная схема электромеханической системы, учитывающая отмеченные особенности главного привода, с общепринятыми обозначениями параметров приведена на рис. 1.

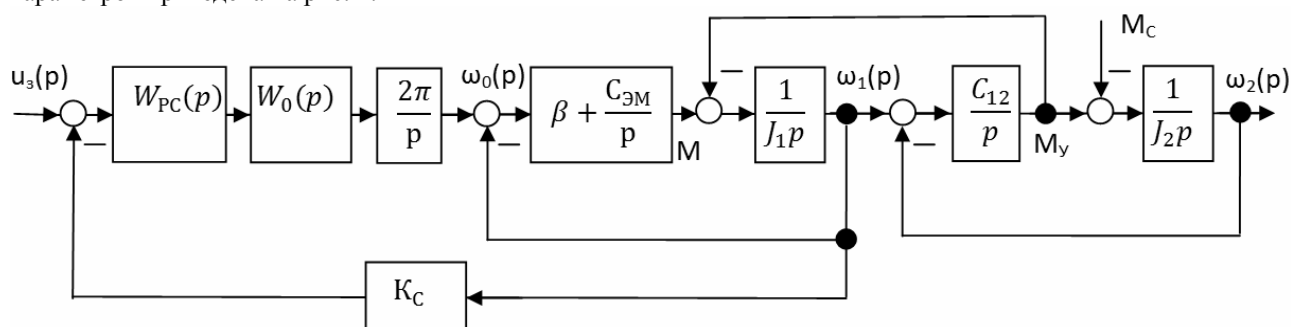


Рис. 1. Структурная схема главного электропривода клетки стана горячей прокатки

При оценке предельных значений демпфирующего действия собственно электропривода диссипацию в механической части не учитываем.

Анализ динамических свойств электропривода с синхронным электродвигателем с учетом известных допущений производим по характеристическому уравнению для структурной схемы (рис.1) следующего вида:

$$Q(p) = \gamma T_{M1}^* T_D T_y^2 p^4 + \gamma T_D T_y^2 p^3 + \gamma (T_{M1}^* T_D + T_y^2) p^2 + T_D p = 0, \quad (1)$$

где $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ - коэффициент распределения инерционных масс двигателя и механизма; $T_y = 1 / \Omega_{12}$ - постоянная времени упругих колебаний; $\Omega_{12} = \sqrt{C_{12}(J_1 + J_2) / J_1 J_2}$ - частота свободных колебаний механической подсистемы; $T_D = \beta / C_{ЭМ}$ - постоянная времени демпферной обмотки синхронного двигателя;

$C_{ЭМ} = M_H / \omega_H$ – коэффициент жесткости упругой электромагнитной связи; $\beta = 2M_K / \omega_0 S_K$ – модуль жесткости асинхронной механической характеристики; $T_{M1}^* = T_{M1} / (1 + K_P K_0 K_C)$ – электромеханическая постоянная времени замкнутой системы для асинхронной характеристики; $T_{M1} = J_1 / \beta$ – электромеханическая постоянная времени ротора синхронного двигателя для асинхронной механической характеристики; K_P – коэффициент передачи регулятора скорости; K_0 – коэффициент объекта; K_C – коэффициент передачи цепи обратной связи по скорости.

Для анализа применяем форму нормирования в виде обобщенных показателей электромеханического взаимодействия [8]:

$$T_{M1}^* = \frac{\sqrt{K_B}}{2\xi_D} T_y; \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$T_D = 2\sqrt{K_B} \xi_D T_y, \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (3)$$

где $\xi_D = \frac{1}{2} \sqrt{T_D / T_{M1}}$.

При подстановке (2), (3) характеристическое уравнение (1) принимает вид:

$$\gamma K_B T_y^4 p^4 + 2\gamma \sqrt{K_B} \xi_D T_y^3 p^3 + \gamma(1 + K_B) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_B} \xi_D T_y p + 1 = 0. \quad (4)$$

Предельное (максимальное) значение демпфирующего действия электропривода с синхронным двигателем достигается при электромеханической симметрии системы [4] и равнозначных процессах в механической и электромагнитной подсистемах. Тогда характеристическое уравнение (4) представляется сомножителями одного вида:

$$Q(p) = (a_0 p^2 + a_1 p + 1)(a_0 p^2 + a_1 p + 1). \quad (5)$$

Электромеханическая система с характеристическим уравнением (4) может иметь динамические свойства (5) при следующих соотношениях обобщенных параметров:

$$K_B = \gamma; \quad (6)$$

$$\xi_D = \sqrt{\gamma - 1}. \quad (7)$$

Из анализа соотношений (6), (7) следует вывод: в электроприводе с синхронным двигателем предельное значение демпфирующего действия не зависит от формы нормирования динамических параметров и определяется коэффициентом распределения инерционных масс γ .

Реализовать оптимальные процессы с минимальной колебательностью момента в упругой передаче возможно при синтезе параметров главного электропривода по соотношениям (2), (3), (6), (7) и выборе на этапе проектирования синхронного двигателя с требуемыми параметрами T_{M1} , T_D или соответствующей настройкой регуляторов. Контур регулирования тока должен иметь высокое быстродействие, то есть $W_0(p) \approx 1.0$, а значение коэффициента передачи регулятора скорости определяется соотношением:

$$K_{PC} = \frac{\left[\left(\frac{T_{M1}}{T_{M1}^*} \right) - 1 \right]}{K_0 K_C}; \quad (8)$$

постоянная времени демпфирования:

$$T_D = 2\sqrt{\gamma(\gamma - 1)} T_y. \quad (9)$$

В качестве примера оптимизации динамики системы рассмотрим главный электропривод клетки НШПС 2500 «ММК» (г. Магнитогорск, Россия). Проект реконструкции оборудования стана выполнен НКМЗ (г. Краматорск) и включает, в том числе, клеть «квартир» F0 с приводом от синхронного двигателя с номинальными данными [9]: $P_H = 10000$ кВт; $n = 135/450$ об/мин; $U_H = 3100$ В; $J_1 = 118000$ кгм².

Синхронный двигатель ДММУЗ 2560-10 В имеет 10 полюсов и в соответствии с рабочей скоростью привода регулируется частотой $f_{min} = 11.25$ Гц и $f_{max} = 37.5$ Гц.

Моделирование режимов захвата металла валками клетки производилось при помощи ЭВМ в пакете Simulink среды Matlab для механической подсистемы главного привода с параметрами $\gamma = 1.5$, $\Omega_{12} = 78.2$ с⁻¹. Механическая подсистема состоит из рабочих и опорных валков, шпинделей, шестеренной клетки, муфт и редуктора. Для приведения многомассовой системы к двухмассовой схеме были выполнены расчеты отдельных элементов кинематической цепи.

На рис. 2 приведены графики переходных процессов основных координат главного электропривода скорости вала двигателя и валков, моментов двигателя и момента в упругом звене для режима ударного приложения нагрузки.

Электропривод с синхронным двигателем эффективно демпфирует упругие колебания, реакция электропривода при минимальной скорости $t_p = 0.3-0.4$ с, значения коэффициента динамичности для ступенчатого приложения нагрузки составляет $K_D = 1.75$, колебательность $\mu = 2.7$.

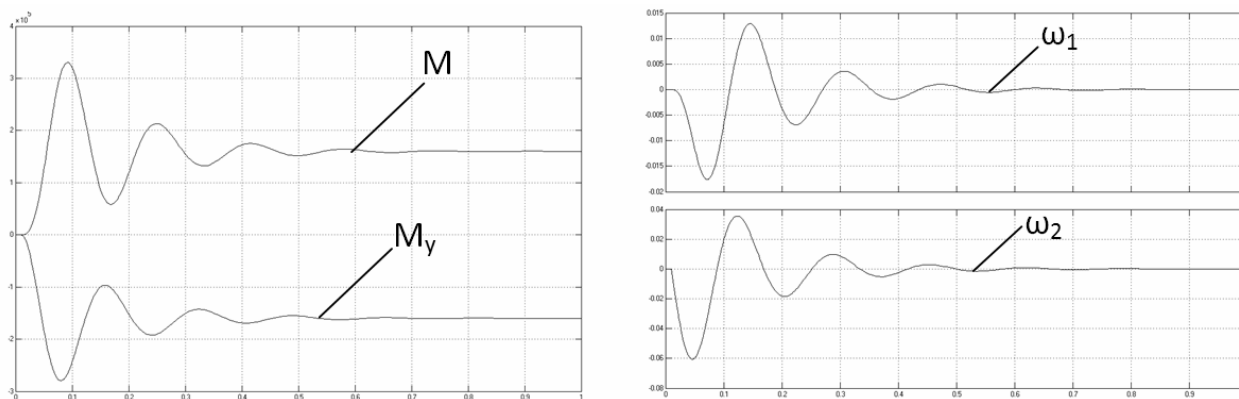


Рис.2 Графики переходных процессов основных координат главного электропривода

Полученные результаты исследования электромеханической системы свидетельствуют о возможности ограничения динамических нагрузок в электроприводах с синхронным двигателем и рекомендуются для практического применения при проектировании электроприводов и оптимизации параметров систем при реконструкции действующих прокатных станов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / Ключев В. И. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
2. Ключев В. И. Состояние и перспективы развития теории электропривода с упругими механическими связями / В. И. Ключев, Л. В. Жильцов, Ю. Т. Калашников // Электричество. – 1981. – № 7. – С. 28–32.
3. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб.: Энергоиздат, 1992. – 228 с.
4. Задорожний Н.А. Принцип электромеханической совместимости в приводах машин с упругими механическими связями / Задорожний Н.А. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 1999. – Вип. 61. – С. 123 – 124.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник [для вищ. навч. закл.] / За редакцією професорів М.Г. Поповича та О.Ю. Лозинського. – К.: «Либідь», 2005. – 679 с.
6. Динамика и прочность прокатного оборудования / [Иванченко Ф. К., Полухин П. И., Тылкин М. А., Полухин В. П.]. – М.: Металлургия, 1970. – 486 с.
7. Чиликин М. Г. Теория автоматизированного электропривода : учеб. пособие [для вузов] / Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
8. Задорожня И. Н. Оценка влияния механического демпфирования на динамику электропривода с упругими связями / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний, А. Ф. Тарасов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. – Вип. 45. – С. 176 – 179.
9. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки. – Х.: «Форт», 2009. – 384 с.