

УДК 681.5001

В.П. Обрусник, Т.В. Горлова

Механические характеристики электромеханических систем подчиненного регулирования

Проанализированы механические характеристики электроприводов. Указаны четыре их типа и основные свойства.

Ключевые слова: электромеханические системы, электропривод, типополнения, обратные связи, регуляторы.

До анализа динамических режимов электромеханических систем (ЭМС) очень важно определить их механические характеристики (МХ). Эти характеристики отражают зависимость скорости электродвигателя ω от его электромагнитного (крутящего) момента M для установившихся режимов работы. Без МХ невозможны анализ и синтез переходных (динамических) режимов работы ЭМС. Современные ЭМС выполняются по структуре подчиненного регулирования, показанной на рис. 1.

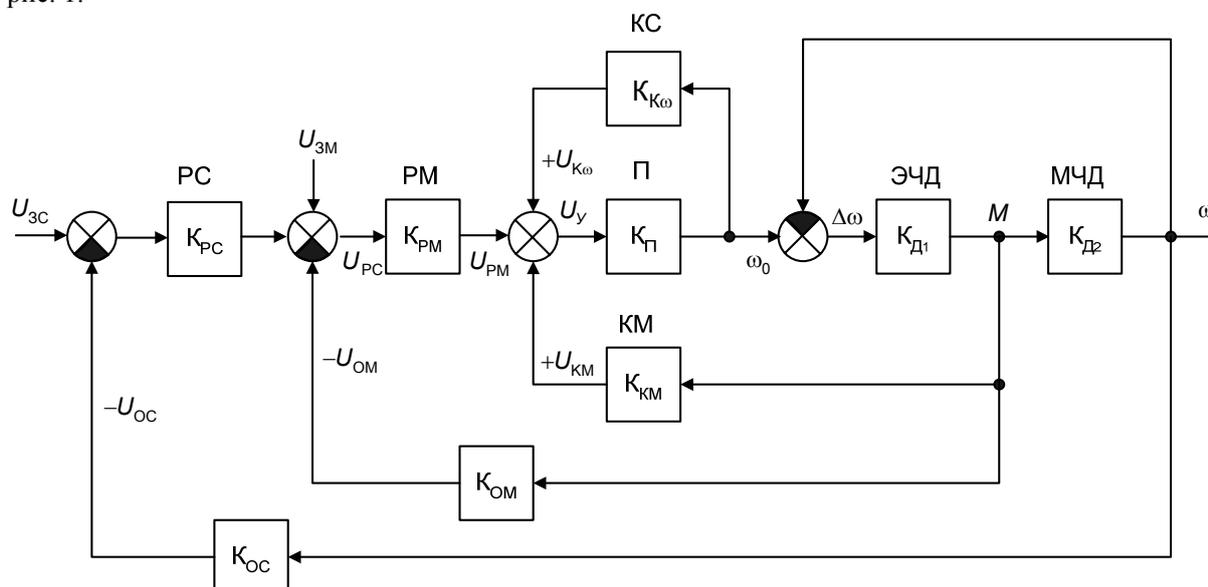


Рис. 1. Структура для механических характеристик ЭМС в системе подчиненного регулирования

Такая структура описана в [3, 4], она будет одинаковой для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ, НВ), регулируемых напряжением якоря или магнитным потоком возбуждения, и асинхронных двигателей, скорость которых регулируется частотой статорного напряжения.

На рис. 1 обозначено: РС, РМ – регуляторы скорости и момента; П – преобразователь электрической энергии с коэффициентом передачи K_{Π} ; ЭЧД – электрическая часть двигателя с коэффициентом передачи $K_{Д1}$; МЧД – механическая часть двигателя с коэффициентом передачи $K_{Д2}$; КС, КМ – компенсаторы влияния скорости и момента на выходное напряжение преобразователя П; U_{3C} , U_{3M} – задающие (управляющие) напряжения для скорости и момента двигателя; U_{OC} , U_{OM} – напряжения отрицательных обратных связей по скорости (ОС) и моменту (ОМ); $U_{K\omega}$, U_{KM} – напряжения положительных обратных связей по скорости и моменту; U_y – управляющее напряжение на входе преобразователя; ω_0 , ω – значения скорости двигателя, индекс «0» – на холостом ходу; M – крутящий, электромагнитный момент двигателя; K_{PC} , K_{PM} – коэффициенты передачи регуляторов скорости РС и момента РМ, их значения для анализа равны 1.

Значения напряжений обратных связей описываются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} U_{OC} &= K_{OC} \cdot \omega; \\ U_{OM} &= K_{OM} \cdot M; \\ U_{K\omega} &= K_{K\omega} \cdot \omega_0; \\ U_{KM} &= K_{KM} \cdot M. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Прохождение задающего сигнала U_{3C} в структуре на рис. 1 до выхода с электромагнитным моментом M описывается уравнением

$$\left\{ \left[(U_{3C} - U_{OC}) \cdot K_{P\omega} - U_{OM} \right] \cdot K_{PM} + U_{K\omega} + U_{KM} \right\} \cdot K_{\Pi} - \omega \cdot K_{Д1} = M. \quad (2)$$

После преобразований уравнений (2) с учетом (1) получаем:

$$\omega = \frac{U_{3C} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}} - M \cdot \frac{\frac{1}{K_{Д1} \cdot K_{\Pi}} - K_{KM} + K_{OM} \cdot K_{PM}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}}} = \omega_0 - \Delta\omega. \quad (3)$$

Составляющими формулы (3) являются:

Скорость двигателя без нагрузки (холостого хода)

$$\omega_0 = \frac{U_{3C} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}}. \quad (4)$$

Снижение скорости под нагрузкой

$$\Delta\omega = M \cdot \frac{\frac{1}{K_{Д1} \cdot K_{\Pi}} - K_{KM} + K_{OM} \cdot K_{PM}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC} \cdot K_{P\omega} \cdot K_{PM}}. \quad (5)$$

В установившемся режиме всегда $K_{P\omega} = 1$, $K_{PM} = 1$ и выражения (4), (5) получают вид:

$$\omega_0 = \frac{U_{3C}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC}}, \quad (6)$$

$$\Delta\omega = M \cdot \frac{\frac{1}{K_{Д1} \cdot K_{\Pi}} - K_{KM} + K_{OM}}{\frac{1}{K_{\Pi}} - K_{K\omega} + K_{OC}}. \quad (7)$$

В целом механические характеристики ЭМС состоят из двух участков, они показаны на рис. 2. Один из них рабочий, когда двигатель в установившихся режимах обеспечивает требуемый технологический процесс работы. Обозначим этот участок цифрой 1.

Этот участок имеет скорость холостого хода ω_0 по формуле (6), значение которой устанавливается величиной задающего напряжения U_{3C} .

Наклон характеристики 1 при изменениях нагрузки измеряется величиной $\Delta\omega$ по формуле (7) при $K_{OM} = 0$. Если $K_{KM} = 1/K_{Д1} \cdot K_{\Pi}$, то $\Delta\omega = 0$, т.е. нагрузка не будет влиять на скорость и участок МХ под номером 1 будет абсолютно жестким, как показано на рис. 2, б и г.

При значении момента электродвигателя $M_{OT} = \lambda_M \cdot M_H$ нужно перейти к ограничению момента и перейти на участок МХ под номером 2. Величина коэффициента λ_M выбирается для инженерной практики в пределах 2÷2,5.

Участок МХ под номером 2 выполняет функции ограничения момента двигателя от величины M_{OT} до значений $M_{\Pi} \cong (2,5 \div 3,5)M_H$. Описывается этот участок формулой (7) при $K_{OC} = 0$. Отметим, что отрицательные обратные связи по скорости и моменту никогда не работают одновременно, так как они противоречивы, мешают одна другой. При $K_{OM} \neq 0$, должна быть $K_{OC} = 0$ и наоборот, если $K_{OC} \neq 0$, то $K_{OM} = 0$. Схемотехнически всегда для ЭМС это обеспечивается.

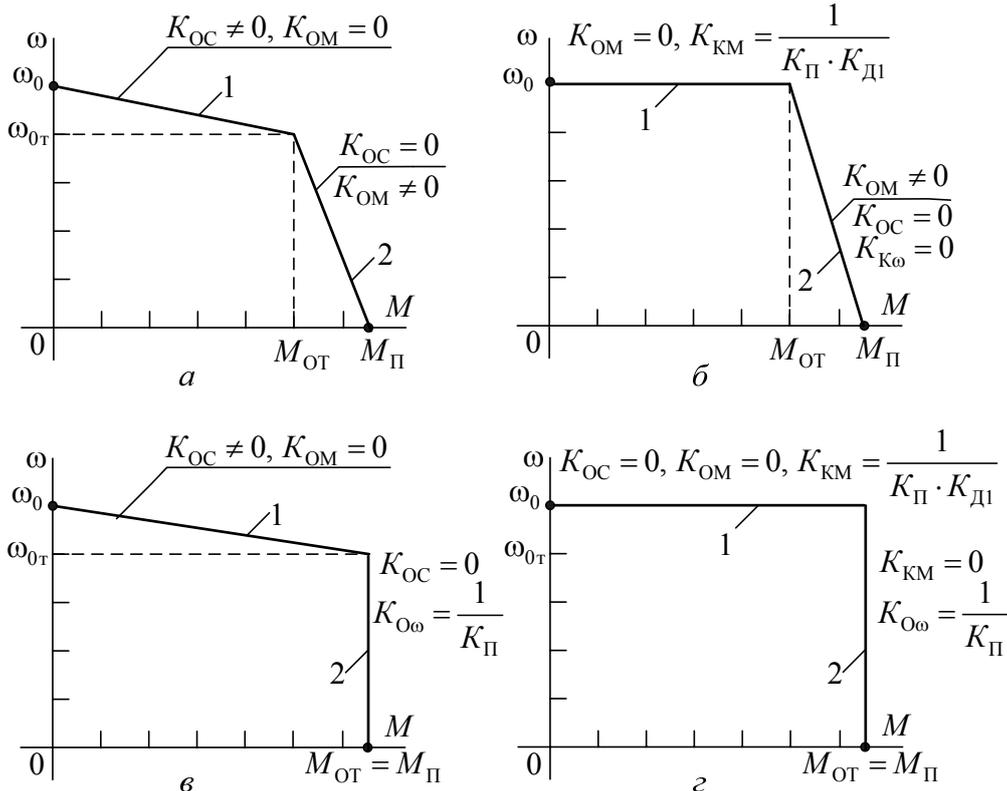


Рис. 2. Типовые механические характеристики ЭМС

Отметим также, что участок 2 обеспечивается управляющим сигналом U_{3M} , отличающимся от $U_{3\omega}$ для участка 1. Вычисляется требуемое значение U_{3M} при совместном решении выражений (6) и (7), когда принимается $M = M_{\Pi}$, $\Delta\omega = \omega_0$ по (6) при $K_{OC} = 0$. Тогда U_{3C} станет величиной U_{3M} .

При обеспечении для формулы (6) условия $K_{K\omega} = \frac{1}{K_{\Pi}}$, что дает полную компенсацию влияния скорости на электромагнитный момент двигателя, конечное значение ω_0 уходит в бесконечность и участок МХ под номером 2 становится вертикальными линиями при $M_{OT} = M_{\Pi}$, см. рис. 2, в и г.

Если $K_{K\omega} < \frac{1}{K_{\Pi}}$, то участки 2 имеют наклон и $M_{OT} < M_{\Pi}$, показанный на рис. 2, а и б.

Итак, рассмотрены четыре вида МХ электроприводов, они показаны на рис. 2. Какие из них и как используются в инженерной практике?

Наибольшее применение получили МХ на рис. 2, а. Они считаются наилучшими для электроприводов механизмов экскаваторов, обеспечиваются сравнительно простыми по исполнению ЭМС, у которых регуляторы скорости и момента имеют класс П, являющиеся усилителями напряжения. Не требуется компенсирующих устройств.

Для обеспечения МХ на рис. 2, б, в, г нужны регуляторы более сложного исполнения, например класса ПИ, требующие операционных усилителей с интегрирующими функциями. Наиболее сложными по исполнению будут ЭМС, обеспечивающие МХ на рис. 2, г. Однако такие системы будут наиболее быстродействующими.

Отметим, что МХ на рис. 2 показаны для случая очень качественной работы компенсирующих устройств. Реально они будут отличаться, если компенсацию возмущений не удастся сделать идеальной.

В целом МХ с участком моментограничения в литературе не описаны и не проанализированы, в том числе в приведенной нами [1, 2, 5]. В данной публикации выражения для исследований приводятся впервые.

Литература

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.; 2001. – 696 с.
 2. Андреев В.П. Основы электропривода: учеб. пособие / В.П. Андреев, Ю.А. Сабинин. – М. СПб.: Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
 3. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода: учеб. / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 543 с.
 4. Сиротин А.А. Автоматическое управление электроприводами: учеб. пособие. – М.: Энергия, 1969. – 560 с.
 5. Кочетков В.П. Теория автоматического электропривода: учеб. пособие / В.П. Кочетков, Г.А. Багаутинов. – Екатеринбург: Изд-во Ураль. ун-та, 1992. – 324 с.
 6. Обрусник В.П. Электрические машины: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2007. – 207 с.
-

Обрусник Валентин Петрович

Д-р техн. наук, профессор каф. промышленной электроники ТУСУРа
Тел.: (382-2) 42-30-16
Эл. почта: vai@ie.tusug.ru

Горлова Татьяна Валентиновна

Преподаватель Кременчугского политехнического института, Украина
Тел.: 38-093-037-24-02

Obrusnik V.P., Gorlova T.V.

Mechanical characteristics of electromechanical systems

Mechanical characteristics of electric drives are analyzed. Their four types and the main properties are specified.

Keywords: electromechanical systems, electric drives, constructions type, feedback, regulators.
