

Заметки и письма

Электричество, 2017, № 2, с. 59–61.

О формулировке названий способов управления исполнительными двигателями электроприводов¹

КАРЖАВОВ Б.Н.

Описываются наиболее распространённые в настоящее время способы управления исполнительными электродвигателями постоянного и переменного тока в электроприводах. Обсуждается формулировка названий способов управления в зависимости от параметров регулирования электродвигателей.

Ключевые слова: электропривод, исполнительный двигатель, способ управления, параметры двигателя

Предварительно следует сказать, что названия существующих способов управления электродвигателями (ЭД) постоянного и переменного тока в электроприводах (ЭП), строго говоря, относительны. Действительно, для обеспечения вращения ЭД необходимо создать в нём вращающий момент

$$M = c_M \Phi I \sin \theta, \quad (1)$$

где Φ — поток статора; I — ток ротора (или наоборот); θ — угол между векторами Φ и I . Поэтому можно сказать, что все способы управления ЭД являются моментными, причём неважно, каким параметром ЭД управлять — потоком Φ или током I . Другое дело, как организован процесс управления: путём регулирования непосредственно значений потока или тока либо путём изменения другого (промежуточного) параметра, например напряжения. Однако в последнем случае появляется некоторое запаздывание в формировании вращающего момента, поскольку входное сопротивление ЭД имеет индуктивный характер¹.

Отметим, что в ЭП с ЭД постоянного тока предпочтение отдавали регулированию тока I при постоянстве значения потока Φ . Уже в начале XIX в. была известна возможность управления такими ЭД путём регулирования входного параметра ЭД (напряжения питания или потребляемого тока) с целью получения заданных значений выходных параметров ЭД (скорости или момента вращения). Использовались в основном два способа управления ЭД с независимым возбуждением в ЭП.

Первый способ, названный токовым, заключался в регулировании тока потребления ЭД для создания заданного значения вращающего момента (впоследствии такой способ был назван момент-

ным [1, 2]). При этом значение напряжения питания и частота вращения вала ЭД определяются нагрузкой (например, ветровой).

Второй способ — «напряженческий» (для благозвучия иногда называвшийся способом управления по напряжению или скорости), заключающийся в регулировании напряжения питания ЭД для создания заданного значения частоты вращения вала ЭД. При этом значения потребляемого тока и вращающего момента определяются нагрузкой. Отметим, что выходные (нагрузочные) характеристики ЭП при первом способе управления ЭД оказываются мягкими, а при втором — жесткими.

Для управления ЭД постоянного тока были разработаны два типа специальных электромашинных усилителей (ЭМУ) — метадин (см., например, [3]) и амплидин (см., например, [4]).

Метадин, по определению его автора К.И. Шенфера², представлял собой «преобразователь постоянного напряжения неизменной величины и постоянного тока изменяемой (в зависимости от нагрузки) величины в неизменяемый (но регулируемый) постоянный ток и постоянное напряжение изменяемой (в зависимости от нагрузки) величины».

По аналогии можно сказать, что амплидин представляет собой преобразователь постоянного напряжения неизменной величины и изменяемой (в зависимости от нагрузки) величины постоянного тока в неизменяемую (но регулируемую) величину постоянного напряжения и изменяемую (в зависимости от нагрузки) величину постоянного тока.

Очевидно, метадин предназначался для управления ЭД токовым (моментным) способом, а амплидин — «напряженческим» (скоростным). Надо

¹ Это обстоятельство следует иметь в виду при разработке замкнутых систем регулирования.

² Патент К.И. Шенфера № 10594 (1929 г.) и № 32040 (1931 г.).

сказать, что рассмотренные выше способы были использованы и для управления ЭД переменного тока. Так, разработанные позднее на основе первого способа ЭП с синхронными ЭД с электронным коллектором были названы «бесконтактными приводами постоянного тока»³. Что касается ЭП с асинхронными двигателями (АД) с короткозамкнутым ротором, то наибольшее распространение получил частотный метод управления АД, предложенный М.П. Костенко [5]. Он заключается в регулировании частоты питающего напряжения с целью изменения частоты вращения АД. При этом должно поддерживаться определенное соотношение значения и частоты напряжения питания АД.

Такой способ управления АД, по мнению автора настоящей статьи, следовало бы назвать «частотно-напряженческим», поскольку при изменении частоты меняется напряжение питания АД. Но по выходному параметру способ является скоростным. Строго говоря, из многих вариантов частотного способа управления (см., например, [6]) собственно «частотным» можно назвать только тот, при котором частота регулируется при постоянном (например, номинальном) значении питающего напряжения. Отметим, что этот вариант частотного способа управления может быть использован для регулирования момента АД. Действительно, воспользовавшись известной схемой замещения АД и учитывая, что

$$M = c_M I_0 I_2', \quad (2)$$

формулу для момента АД можно записать в виде

$$M = \frac{c_M E^2}{L_0 r_2'} \frac{\omega_1 - \omega_{вр}}{\omega_1^2}, \quad (3)$$

где E – ЭДС АД.

Очевидно, такой способ управления АД можно назвать частотно-моментным.

Отметим, что зависимость $M = f(\omega_1)$ нелинейная⁴, но при большой крутизне преобразования несколько линеаризуется. Однако этот способ был разработан для замкнутых систем регулирования (для которых требования по линейности невысоки) и длительное время использовался в асинхронных приводах моторов-маховиков космических аппаратов (типа космического объекта «Вертикаль» [7]).

Теперь о частотно-токовом управлении (ЧТУ) ЭД переменного тока. Оно было предложено В.Н. Бродовским в 1962 г. и использовалось как в

разомкнутых схемах ЭП⁵, так и в замкнутых по углу схемах⁶ ЭП и заключалось в регулировании тока статора ЭД в соответствии с первым (токовым) способом управления ЭД, рассмотренным выше. Очевидно, такой способ управления тоже можно считать токовым, а следовательно, и моментным.

Следует отметить, что к моментным приводам можно отнести и вентильные приводы с моментным (но не частотно-токовым) управлением ЭД [1, 8]. Отличительная их особенность в том, что момент изменяется не путём регулирования переменного тока непосредственно в обмотках ЭД, а путём регулирования постоянного тока питания усилителя мощности, выполненного, как правило, в виде трехфазного мостового инвертора [2].

В последнее время моментный способ управления ЭД постоянного и переменного тока широко использовался в приводах систем управления, разработанных как для различных областей народного хозяйства [2], так и для военной техники [7].

В качестве примера построения ЭП с ЭД синхронного типа можно привести упомянутый выше «бесконтактный привод постоянного тока», а в качестве такового из ряда ЭП с АД – можно назвать привод для форсированного разгона гиromоторов⁷ [8]. В нем для создания максимально возможного момента в процессе разгона АД поддерживают максимально возможное значение тока статора, обеспечивая при этом пропорциональность значений частоты питающего тока и ЭДС АД.

В заключение отметим следующее. Поскольку со стороны нагрузки, как правило, выдвигаются требования обеспечить заданные величины момента и частоты вращения ЭД, то и способы управления ЭД в ЭП целесообразно называть по выходным параметрам. Тогда можно сказать, что, по большому счёту, существуют только два способа управления ЭД в ЭП – моментный и скоростной. А распространённые в настоящее время названия (токовый, частотный и др.) относятся к способам регулирования входных параметров ЭД, что менее информативно.

Теперь о формулировке моментного способа управления (МСУ) ЭД в ЭП.

В публикуемых статьях нередко название «моментный способ управления ЭД» и «приводы с моментным управлением ЭД» заменяют на «способ управления моментом ЭД» и «приводы со спосо-

⁵ А.с. СССР № 186018 (1962 г.) / В.Н. Бродовский, Ю.А. Кузнецов.

⁶ А.с. СССР № 253226 (1967 г.) / В.Н. Бродовский, Б.Н. Каржавов, Ю.П. Рыбкин.

⁷ А.с. СССР № 284868 (1965 г.) / В.Н. Бродовский, А.А. Замбрицкий, Б.Н. Каржавов.

³ А.с. СССР № 186019 (1966 г.) / В.Н. Бродовский, А.А. Замбрицкий, Ю.А. Кузнецов, Ю.П. Рыбкин.

⁴ Здесь при изменении частоты ω_1 одновременно изменяются и величина потока и величина тока ротора АД.

бом управления моментом ЭД». Такая замена, по мнению автора, не равноценна, поскольку происходит смена объектов воздействия, а именно, ЭД на момент ЭД, т.е. замена способа управления ЭД на способ управления его моментом. А управление моментом ещё не означает, что имеет место моментное управление ЭД. Как указывалось выше, момент ЭД регулируется при всех способах управления ЭД, в том числе и при скоростном («напряженческом»). Отметим, что при использовании предлагаемой замены формулировки возникает вопрос: каким конкретно способом управляется момент? Ведь момент можно регулировать разными способами — изменением тока, потока или частоты. Названия «моментный способ» и «моментный привод» располагаются в ряду известных и употребляемых в настоящее время наименований и в наибольшей степени отражает специфику моментного привода.

В связи с изложенным я категорически возражаю против замены названия «моментный способ управления ЭД» и «приводы с моментным управлением ЭД» на «способ управления моментом ЭД» и «приводы со способом управления моментом ЭД».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродовский В.Н., Каржавов Б.Н. Вентильные приводы с моментным управлением. — В сб.: Вопросы оборонной техники, 2002, сер.9, вып. 225, с. 27—31.

Elektrichestvo (Electricity), 2017, No.2, pp. 59–61.

About the Names of Methods Used to Control the Electric Drive Actuating Motors

KARZHAVOV Boris Nikolayevich (*Central Research Institute of Automatics and Hydraulics, Moscow, Russia*)
— Chief Scientific Researcher, Dr. Sci. (Eng.)

Methods that are presently most widely used to control the DC and AC actuating motors in electric drives are described. The names assigned to control methods depending on the electric motor control parameters are discussed.

Key words: *electric drive, actuating motor, control method, motor parameters*

REFERENCES

1. Brodovskii V.N., Karzhavov B.N. *Sbornik «Voprosy oboronnoi tekhniki» — in Russ. (Collection «Problems of Defence Technics»)*, 2002, ser. 9, iss. 225, pp. 27—31.

2. Baranov M.V., Brodovskii V.N., Zimin A.V., Karzhavov B.N. *Elektricheskiye sledyashchiye privody s momentnym upravleniyem ispolnitel'nymi dvigatelyami* (Electric servo drives equipped with torque-controlled actuator motors). Moscow, Publ. of the Bauman Moscow State Technical University, 2006, 240 p.

3. Shenfer K.I. *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 1940, No. 1, pp. 47—56.

4. Sabinin Yu.A. *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 1940, No. 11, pp. 17—21.

2. Баранов М.В., Бродовский В.Н., Зимин А.В., Каржавов Б.Н. *Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями.* — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2006, 240 с.

3. Шенфер К.И. *Безреостатное управление тяговыми электродвигателями постоянного тока.* — *Электричество*, 1940, № 1, с. 47—56.

4. Сабинин Ю.А. *Амплидин и его применение.* — *Электричество*, 1940, № 11, с. 17—21.

5. Костенко М.П. *Работа многофазного асинхронного двигателя при переменном числе периодов.* — *Электричество*, 1925, № 2, с. 85—95.

6. Булгаков А.А. *Частотное управление асинхронными двигателями.* — М.: Энергоиздат, 1982, 216 с.

7. **Высокоточные системы управления и приводы для вооружения и военной техники/Под ред. В.Л. Солунина.** — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 368 с.

8. Каржавов Б.Н. *Об управлении моментом исполнительного двигателя в электроприводах.* — *Электричество* 2011, № 2, с. 39—45.

[10.10.2016]

А в т о р: Каржавов Борис Николаевич окончил радиотехнический факультет Московского электротехнического института связи в 1957 г. В 1990 г. защитил докторскую диссертацию «Приборы и устройства систем управления и специальных электроприводов». Главный научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института автоматики и гидравлики.

