

М.Р. КУДОЯН

К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Показана эффективность применения нетрадиционных и редко используемых способов управления, а именно, принципа модального управления в системах частотно-управляемых асинхронных электроприводов (ЧУЭП) с асинхронными двигателями (АД) с короткозамкнутым ротором. Предложено новое системное решение, повышающее быстродействие и динамическую устойчивость ЧУЭП. Предложенные системы ЧУЭП реализуемы и работоспособны при любом уровне технической реализации составных узлов и компонентов.

Ключевые слова: частотно-управляемый асинхронный электропривод, инвертор, выпрямитель, асинхронный двигатель.

Частотно-управляемые асинхронные электроприводы (ЧУЭП) с явно-выраженным промежуточным звеном постоянного тока занимают большую часть современных серийно выпускаемых промышленных систем ЧУЭП и имеют тенденцию к дальнейшему развитию.

Известно, что создание систем электроприводов (ЭП) с широким диапазоном регулирования выходных координат и высокой статической и динамической точностью при сложных внешних возмущениях возможно лишь на основе энергетических способов регулирования.

С учетом того, что основным источником электроэнергии является промышленная сеть переменного тока, можно показать, что независимо от типа двигателя для организации энергетического регулирования необходимо реализовать, как минимум, трехкратное преобразование энергии, при этом сами преобразователи могут быть как явновыраженными, так и совмещенными.

Электромагнитный момент, развиваемый электрической машиной, независимо от способов возбуждения ее двух частей, определяется векторным произведением результирующего вектора рабочего потокосцепления в воздушном зазоре (Ψ_μ) и результирующего вектора тока (I) одной из частей машины:

$$M = \Psi_\mu \times I,$$

что, с учетом взаимозависимости электромагнитных переменных, можно выразить также и через пару других векторов. Из этого следует, что для полной управляемости по моменту необходимо организовать непосредственное воздействие на амплитуды пространственных векторов хотя бы одной переменной статора и одной переменной ротора, а также на взаимную пространственную ориентацию выбранной пары векторов переменных статора и ротора. Поэтому полностью управляемые машины должны быть прежде всего двухканальными, а для организации энергетического регулирования скорости необходимо хотя бы в одном из двух каналов реализовать трехкратное преобразование энергии: из первичной энергии сети в энергию постоянного тока, из энергии постоянного тока в

энергию вторичного переменного тока, из энергии вторичного переменного тока в механическую энергию [1-3].

Итак, система ЭП, где есть возможность управлять амплитудой и пространственной ориентацией векторов всех переменных, как статора, так и ротора, с точки зрения управляемости является избыточной. При этом режим работы ЭП однозначно определяется заданным многомерным вектором управления, т.е. для статической устойчивости такой системы ЭП необходимо будет реализовать безынерционный адекватный «наблюдатель», поскольку при этом система абсолютно лишена свойств внутреннего саморегулирования.

Для синтеза таких перспективных систем показана эффективность применения нетрадиционных и редко используемых способов управления, а именно, принципа модального управления систем ЧУЭП с асинхронными двигателями. Из теории управления известно, что принцип модального управления, в сущности, означает замыкание объекта управления обратной связью по вектору состояния с помощью модального регулятора (здесь не рассматриваются вопросы невозможности или трудности измерения с необходимой точностью и качеством ряда координат ЭП, таких как производные токов АД и преобразователя, момент на валу АД, упругий момент и т.д.). Согласно этой теории, можно предложить структурную схему асимптотического наблюдателя состояния (НС) полного порядка (рис. 1), построенную как замкнутая система с обратной связью по вектору состояния.

Выход объекта $Y(t)=CX(t)$ сравнивается с выходом НС: $Y(t_1)=CX(t_1)$, и их разность является сигналом рассогласования $\Delta Y=Y(t)-Y(t_1)$ через матрицу коэффициентов обратной связи наблюдателя L на входах его интеграторов.

Тогда, согласно структурной схеме, разработка НС описывается векторно-матричным уравнением

$$X(t) = [A - LC]X(t_1) + LY(t_1) + BU(t)$$

при условии полной наблюдаемости объекта, которая проверяется исходя из матрицы наблюдаемости

$$Q_n = [C^T A^T C^T (A^T)^2 C^T \dots (A^T)^{n-1} C^T],$$

где $\text{Rang } Q_n = n$ (n -порядок объекта).

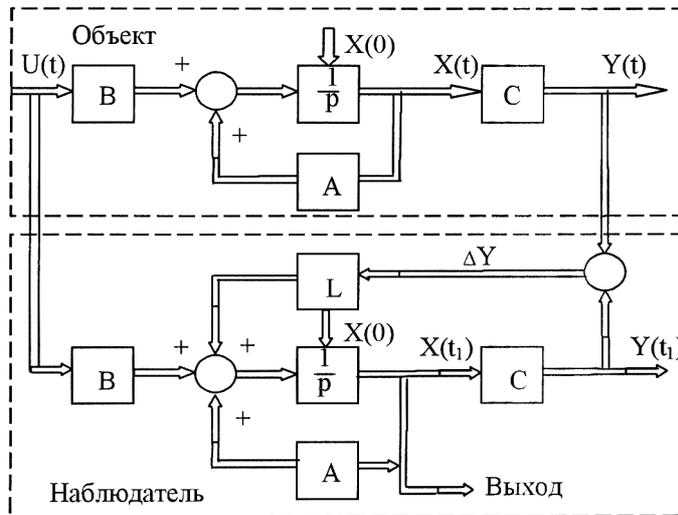


Рис. 1. Структурная схема объекта с асимптотическим наблюдателем состояния

Например, при известных допущениях общее дифференциальное уравнение ЭП, выполненного по системе “полупроводниковый преобразователь – двигатель”, в общепринятых обозначениях [3] имеет вид

$$\frac{d^3\omega}{dt^3} + \frac{T_\mu + T_Y}{\dot{O}_\mu T_Y} \cdot \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{T_\mu + T_M}{\dot{O}_\mu T_Y T_M} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{\dot{O}_\mu T_Y T_M} \cdot \omega = \frac{K}{\dot{O}_\mu T_Y T_M} \cdot U_Y,$$

где Q_μ – матрица наблюдаемости системы.

Разумеется, что при технических реализациях систем по структуре рис.1 следует учитывать реальную степень наблюдаемости объекта с помощью матрицы наблюдаемости в случае его неполной наблюдаемости, что связано с известными трудностями распознавания объектов.

Несмотря на перспективность систем с вышеприведенной структурой, современные системы ЭП строятся, основываясь на некоторую способность внутреннего саморегулирования системы, т.е., по крайней мере, одну из трех переменных, определяющих электромагнитный момент машины, оставляют независимой. Помимо этого, с учетом экономических показателей в настоящее время наибольшее распространение получили частотно-управляемые системы ЭП с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, т.е. системы с одноканальным управлением. Здесь в зависимости от выбранного для ориентации координатных осей опорного вектора можно построить одну из известных семи структурных схем ЧУЭП [1,2].

Несмотря на множество структурных и технических реализаций, зависящих в основном от требуемых показателей качества управления в статике и динамике, а также от энергетических показателей ЭП, известные системы ЧУЭП с управляемым звеном

постоянного тока, реализованные или электронными аппаратными средствами, или числовым программным управлением, имеют одну важную системную общность, заключающуюся в том, что сигнал задания скорости управляемого асинхронного двигателя, подающийся на вход либо разомкнутой, либо замкнутой системы, непосредственно подается на вход системы управления полупроводникового автономного инвертора напряжения в виде прямого или имеющего определенную форму результирующего сигнала управления для регулирования частоты питающего АД напряжения. Этот же сигнал через функциональный преобразователь подается также и на вход системы управления полупроводникового управляемого выпрямителя с целью управления амплитудой питающего АД напряжения [1-4]. Такое системное решение изначально приводит к ухудшению динамических показателей ЭП, а именно, на интервалах времени, находящихся внутри периода выходных сигналов инвертора, частота питающего АД напряжения начинает изменяться непропорционально изменению амплитуды питающего АД напряжения. Необходимо также учесть и временную задержку управляемого выпрямителя, обусловленную относительно низкой частотой питающей сети. Это приводит к замедлению изменения электромагнитного момента АД в нужном направлении и, тем самым, к уменьшению быстродействия и других динамических показателей ЭП. Указанное явление может также способствовать возникновению и дополнительному усилению широко наблюдаемых в известных системах автоколебаний АД.

Предлагается более быстродействующая система ЧУЭП, где входной сигнал управления инвертором снимается с выхода управляемого выпрямителя, а сигнал задания скорости АД подается на вход управления выпрямителя. Такое решение обеспечивает автоматическую форсировку изменения электромагнитного момента АД за счет пропорциональности изменения амплитуды напряжения относительно изменения частоты. В системе введены обратные связи по входному току, напряжению инвертора и скорости АД через общий усилитель на входе управления выпрямителя (рис. 2).

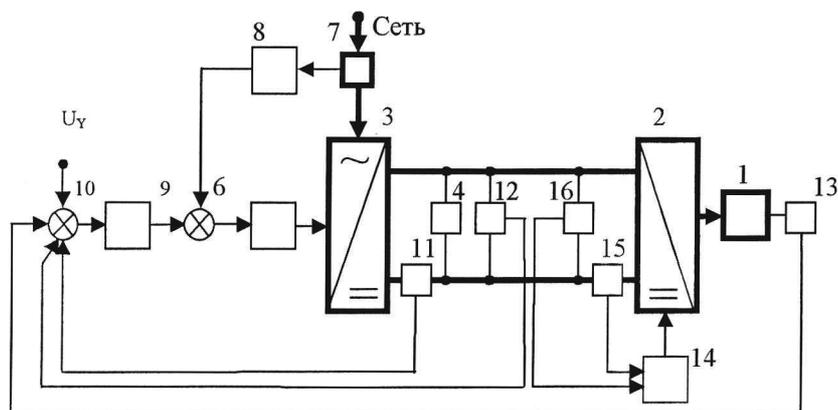


Рис.2. Структура ЧУЭП с общим усилителем

На рис 2 приняты следующие обозначения: 1 - асинхронный двигатель; 2 - полупроводниковый инвертор; 3 - полупроводниковый управляемый выпрямитель; 4 - конденсатор; 5 - система управления выпрямителя 3; 6 и 10 -элементы сравнения; 7 - датчик входного сетевого тока; 8 - нелинейный элемент; 9 - общий усилитель; 11 и 15 – датчики тока; 12 и 16 - датчики напряжения; 14 -система управления инвертором 2; 13 - датчик скорости.

Дальнейшим развитием предложенной системы по быстродействию является разработанная вторая система ЧУЭП с подчиненным управлением, где применен способ последовательной коррекции для решающих (больших и средних) инертностей системы. Здесь все три переменные – входной ток и напряжение инвертора, а также скорость АД, имеют собственные контуры регулирования с индивидуальными регуляторами так, что входной сигнал регулятора каждого внешнего контура служит сигналом управления соответствующего внутреннего контура. Желаемые показатели качества движения ЧУЭП в статике и динамике обеспечиваются известным выбором передаточных функций и настроек трех регуляторов (рис. 3) [3,6].

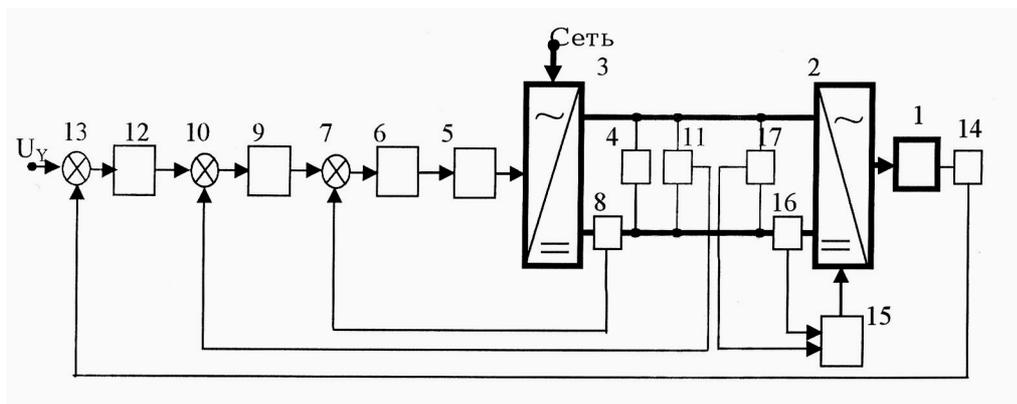


Рис. 3. Структура ЧУЭП подчиненного управления

На рис. 3 приняты следующие обозначения: 1 - АД; 2 – автономный инвертор напряжения (АИН); 3 - управляемый выпрямитель; 4 - конденсатор; 5 - система управления выпрямителя; 6,9,12 - соответственно регуляторы тока, напряжения и скорости; 7,10,13 - элементы сравнения; 8,16 - датчики тока; 11,17 - датчики напряжения; 14 - датчик скорости; 15 - система управления АИН.

Приведенные на рис. 2 и 3 системы были разработаны и реализованы аппаратными средствами для АД с номинальной мощностью 2 кВт [5]. Экспериментально проверены и обоснованы основные положения предложенного решения. Созданные системы ЧУЭП успешно прошли испытания на шлифовальном станке ЗАО "АРМСТАНОК".

Поскольку предложенное решение является системным, то рассмотренные системы реализуемы и работоспособны при числовом программном управлении ЧУЭП, а также при любом уровне технической реализации их составных узлов и компонентов, как, например:

1. Системы управления, элементы каналов обратных связей и регуляторы могут быть как аналоговыми, так и дискретными.

2. Полупроводниковый управляемый выпрямитель может быть однофазным и многофазным с любой известной схемой.

3. Инвертор – любой полупроводниковый, например, транзисторный или тиристорный.

4. Алгоритм управления инвертором может быть любым, как, например:

а) управление с 120° эл.; б) управление с 180° эл.; в) с широтно–импульсной модуляцией с неизменным законом модуляции; г) с широтно–импульсной модуляцией с управляемым законом модуляции и т.д.

Таким образом, показано, что с целью повышения эффективности ЧУЭП имеются далеко не использованные ресурсы в области системных решений, примерами чего может служить предлагаемая система с использованием принципа модального управления с наблюдателем состояния, а также разработанная и апробированная система автоматического ЧУЭП с новой структурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сандлер А.С., Сарбатов Р.С.** Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями.- М.: Энергия, 1974. - 328 с.
2. **Слежановский О.В., Дацковский Л.Х.** и др. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями.- М.: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.
3. **Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С.** Теория автоматизированного электропривода.- М.: Энергия, 1979. - 615 с.
4. **Кво В.С., Lieu D.K.** Instrumental Motion Control Systems and Devices.-USA, 2001.-250 p.
5. **Кудоян М.Р.** Быстродействующий асинхронный электропривод с автоматическим частотным управлением: Дис. на соиск. степени магистра ГИУА. - Ереван, 2001. -68 с.
6. **Режмин Б.И., Ямпольский Д.С.** Преобразование и наладка систем подчиненного регулирования электроприводов. - М.: Энергия, 1975. – 356 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 24.03.2004.

Մ. Ռ. ԿՈՎՅԱՆ

ՂԵՂԻ ՀԱՃԱԽԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՄԲ ԱՍԻՆԺՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ

Ցույց է տված ոչ ավանդական և լայն օգտագործում չունեցող կառավարման միջոցների արդյունավետությունը՝ օգտագործելով հաճախականային կառավարմամբ ասինքրոն էլեկտրաբանեցումների (ՀԿԱԷ) հայտնի մոդալ կառավարման սկզբունքը: Առաջարկված է նոր համակարգային լուծում, որը բարձրացնում է ՀԿԱԷ արագագործությունը և դինամիկ կայունությունը: Առաջարկված ՀԿԱԷ համակարգերն իրագործելի և աշխատունակ են դրանց առանձին մասերի և բաղադրամասերի ցանկացած տեխնիկական իրագործման մակարդակով:

M. R. KUDOYAN

ON INCREASING EFFECTIVENESS OF FREQUENCY-CONTROLLED SYSTEMS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

The effectiveness of nonconventional and rarely used methods of control, namely, the principle of modal control in asynchronous frequency-controlled electric drives (AFCED) with induction motors is shown. A new system solution for increasing the response rate and dynamic stability of AFCED is proposed. The proposed AFCED systems are effective at any level of technical realization of their separate nodes and components.