

**ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ,
СОДЕРЖАЩИМИ ЧИСТОЕ ЗАПАЗДЫВАНИЕ**

Концепция предиктивного, иначе прогнозирующего, управления построена на анализе возможного поведения объекта управления как реакции на возможные управляющие и возмущающие воздействия. Подобный подход свойственен человеку при принятии какой-либо стратегии действий на основе предварительного моделирования ситуации и возможного ее развития. Использование данного принципа в технических системах управления стало возможно благодаря развитию быстродействующих цифровых управляющих устройств, применение которых позволяет моделировать поведение объекта управления в ускоренном времени. Таким образом, становится возможным проанализировать за допустимый интервал времени несколько стратегий управления и выбрать оптимальную в некотором смысле.

Применение принципов прогнозирующего управления позволяет, при наличии адекватной модели объекта, динамически отслеживать параметрические и структурные изменения в нем, достаточно быстро реагировать на эти изменения, в том числе за счет изменения критерия оптимизации (например, меняя порядок астатизма САР). Безусловно, это возможно только при применении специализированных моделей, например, на основе искусственных нейронных сетей [1,2,4]. Другая задача для прогнозирующих систем – управление объектами, содержащими чистое или транспортное запаздывание. Как известно [5], компенсация транспортного запаздывания представляет достаточно серьезную проблему и требует применения специальных регуляторов.

Рассмотрим, как данная задача может быть решена в рамках предиктивного управления для управления одной из проекций тока статора асинхронного двигателя. При пренебрежении перекрестными связями объект управления упрощенно может быть представлен так, как показано на рис. 1. Заметим, что звено запаздывания на входе характеризует систему управления и, в общем случае, меняется в пределах $0 < 2T$, где T – период квантования.

В данном варианте структурная схема прогнозирующей системы управления выглядит так, как показано на рис.2. Используются следующие обозначения: ОУ – объект управления, С – стек выборки управляющего сигнала, Р – регулятор, БП – блок прогноза, БК – блок расчета заданного показателя качества регулирования, БР – блок принятия управляющих решений.

Алгоритм работы системы сводится к следующим операциям. Регулятор для текущего вектора заданного состояния системы $x(nT)$ формирует планируемый массив векторов управляющих воздействий $U_n(k) = \{u_n(nT+T), \dots, u_n(nT+NT)\}$, где NT – интервал или горизонт прогноза, k – номер варианта массива. Блок предсказания моделирует состояние системы в будущем при заданном управлении и текущем состоянии объекта управления. Полученный прогноз $Y(k) = \{y(nT+T), \dots, y(nT+NT)\}$ направляется в блок расчета показателя качества регулирования. Данный блок вычисляет на глубину горизонта прогноза в соответствии с выбранным принципом интегральный показатель качества предсказанного процесса. В выбранном здесь варианте – критерий настройки на модульный оптимум первого контура регулирования:

$$J = \sum_{i=0}^{NT} \left((x(iT) - y(iT))^2 + \frac{T\mu}{T} (y(iT+T) - y(iT))^2 \right).$$

Далее управление передается блоку принятия решений. Последний выбирает оптимальный по заданному критерию векторов управляющих воздействий и передает его номер k_{opt} в регулятор. Наконец, блок стека управляющего сигнала осуществляет временную сдвигку вектора управляющих воздействий, подстраивая его под интервал транспортного запаздывания T , для данного объекта управления.

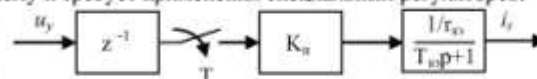


Рис.1. Объект управления

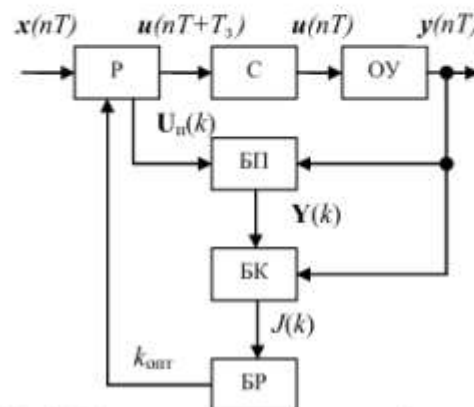
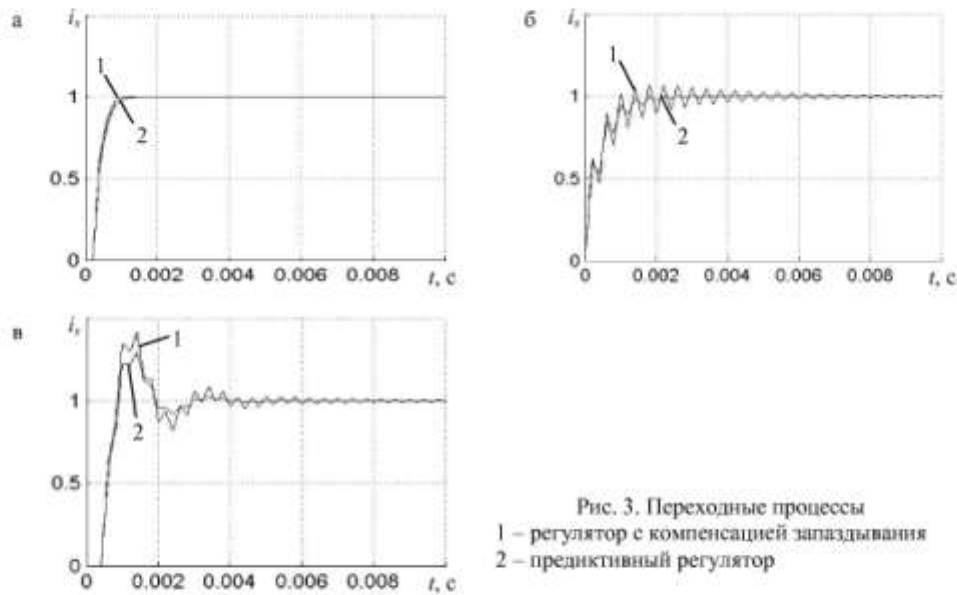


Рис.2. Общая структура прогнозирующей системы

Рассмотрим работу прогнозирующей системы в сравнении с классической цифровой системой построенной по принципу вынесения запаздывания за контур регулирования (далее – системой с компенсацией запаздывания). Переходные процессы для ступенчатого управляющего воздействия приведены на рис.3.



Обе САР настроены на аperiodический переходный процесс с постоянной, равной такту квантования. На рис.3а. показаны процессы при условии, что реальное запаздывание соответствует величине, заданной при синтезе регуляторов и равно такту квантования. Качество системы с компенсацией и предиктивной системы практически одинаковое, форма процессов соответствует желаемой. Поскольку реальное запаздывание в рассматриваемом объекте меняется в диапазоне $0+2T$, на рис.3б и 3в рассмотрены два крайних случая: на рис.3б $T_r=0$, на рис.3в $T_r=2T$. При этом настройка регуляторов сохранялась неизменной. Как видно, форма процессов примерно одинаковая и качество процессов ожидаемо ухудшилось, однако амплитуда т.н. скрытых колебаний в предиктивной системе значительно ниже, что является несомненным ее достоинством.

Подобная картина будет наблюдаться и при большем времени запаздывания. При этом заметим, что если для системы с компенсацией для нового значения времени запаздывания требуется структурная перестройка регулятора с увеличением его порядка, то в алгоритм предиктивного регулятора следует внести лишь параметрические изменения, задав новую глубину стека выборки. Заметим также, что применение предиктивного управления особенно оправдано для объектов с большим по отношению к периоду квантования временем запаздывания.

Литература:

1. Браславский И.Я., Костылев А.В., Мезеушева Д.В. Цифровое прогнозирующее управление с использованием нейронных предсказателей. Труды V Международной (16 Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу, Санкт-Петербург, 2007
2. Браславский И.Я., Костылев А.В., Мезеушева Д.В. Цифровое прогнозирующее управление с использованием нейронных предсказателей. // *Электротехника*. 2007. №11.
3. Костылев А.В. Цифровые предиктивные системы управления асинхронными электроприводами. // Труды международной четырнадцатой конференции «Электроприводы переменного тока», Екатеринбург, 2007.
4. Braslavsky I.Ya., Kostylev A.V., Digital prediction control of electrical drive using neural network // *SPEEDAM 2008. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Ischia, Italy 11th - 13th June, 2008*. PP. 1065-1068.
5. Ишматов З.Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 278 с.