

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

А.Б. Дарьенков¹, А.С. Плехов²

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО «Энергосбережение»²

Обсуждаются информационные подходы к анализу и синтезу алгоритмов управления работой систем электропотребления на примере энергосберегающих комплексов с использованием компенсационного выпрямителя в звене постоянного тока частотно управляемого электропривода.

Ключевые слова: энергосберегающие генерирующие комплексы переменной скорости вращения; компенсационный преобразователь частоты; информационная совместимость; взаимосвязанные системы электрооборудования; метод динамических аналогий для исследования совместимости подсистем электропотребления.

Современные комплексы электрооборудования предприятия или цеха связаны между собой в узле нагрузки системы электроснабжения и влияют друг на друга через общую шину, вызывая появление гармоник в напряжении питания, несимметрии напряжений трёхфазной сети, потери энергии за счёт потоков реактивной мощности.

В условиях современного производства на первый план выходят мероприятия по решению вопросов улучшения динамики и экономичности действующих электроприводов механизмов различного класса. Улучшение энергетических показателей путём внедрения новых алгоритмов управления является одной из приоритетных задач электропривода [1, 2].

Нагрузки распределительной сети электроснабжения характеризуются избыточностью потребляемой активной мощности по отношению к мощности, необходимой для технологического процесса; потреблением реактивной мощности; наличием нелинейностей - генерацией высших гармоник; несимметрией нагрузок, приводящей к несимметрии напряжений в трёхфазной сети. Нивелировать перечисленные проблемы возможно посредством применения средств регулируемого интеллектуального электропривода - компенсационных преобразователей [3, 4].

С другой стороны, электроприводы используются для воспроизведения заданного закона движения органов механизма («информационный» привод), либо для выполнения этими органами полезной механической работы («силовой» привод). К первой группе относятся большинство приводов подачи металлорежущих станков, испытательных, проверочных стендов, считывающих и записывающих узлов и другого оборудования. Ко второй группе относятся главные приводы металлорежущих станков, прокатных станов, приводы насосов, вентиляторов и всех других механизмов и машин, предназначенных для преобразования механической энергии в полезную работу.

Эта дуальность свойственна всем системам электропривода. Это заставляет одни из них рассматривать как системы передачи и преобразования информации, а другие – как системы электромеханического преобразования энергии. Таким образом, в первом случае

при конструировании электропривода основное внимание обращается на придание ему свойств, обеспечивающих качественное воспроизведение передающей информации. При этом в установившемся режиме работы установленная мощность электродвигателя недоиспользуется. Во втором случае доминирующее значение имеет выбор необходимой мощности электродвигателя и других элементов силового электропривода.

Однако не следует рассматривать электроприводы первой группы только как системы для воспроизведения информации, базируя все расчёты системы и исследования на положениях теории управления. Очевидно, самые совершенные управляющие устройства не смогут обеспечить заданное движение рабочих органов исполнительного механизма, если оно не обеспечено энергетически силовой частью. Таким образом, в каждом электрическом приводе осуществляются сложные взаимосвязи между его информационной и энергетическими частями.

Двойственность функций присуща также и механической части привода. Она состоит в том, что её кинетические цепи могут осуществлять жёсткие или упругие, а также нелинейные связи между элементами. Кроме того, могут обладать жёсткостью или вязкостью элементы технологического процесса, например, упругость прокатываемого материала или вязкость перекачиваемых нефтепродуктов. Поэтому различают упругость и вязкость кинематических звеньев – упругость первого рода, и упругость и вязкость тел, участвующих в технологическом процессе – второго рода.

При исследовании и расчётах целесообразно применять обобщенные математические модели электропривода. Такие модели создаются на основе использования приведённых систем. Например, при равенстве мощностей на валах двигателя и исполнительного органа рабочей машины:

$$M_c \cdot \omega_d = M_m \cdot \omega_m, \tag{1}$$

где M_c – статический момент, приведённый к валу двигателя; M_m – статический момент сопротивления механизма на его валу; ω_d и ω_m – угловая скорость вала двигателя и механизма.

Из (1) получим

$$M_c = M_m \left(\frac{\omega_m}{\omega_d} \right) = M_m / j,$$

где j – передаточное число приводного устройства.

При учёте потерь энергии

$$M_c = M_m \frac{\omega_m}{\omega_d \cdot \eta_n} = \frac{M_m}{j_n \cdot \eta_n},$$

где $j_n = j_1 \dots j_k$ – передаточное отношение передачи и его отдельных ступеней; η_n – КПД передачи и его отдельных ступеней $\eta_n = \eta_1 \dots \eta_n$.

Баланс мощностей в электромеханической системе однодвигательного электропривода можно представить в виде равенства

$$P_c = M_{p.o} \cdot \omega_{p.o} + \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j c_j \varphi_j \frac{d\varphi_j}{dt} + \sum_k m_k g \frac{dh_k}{dt} + \sum_l L_l i_l \frac{di_l}{dt} + \sum_n C_n U_n \frac{dU_n}{dt} + \Delta P_\Sigma, \tag{2}$$

Мощность электрической энергии, поступающей из сети на вход электропривода, обозначена P_c . Доля мощности, расходуемая на реализацию движения рабочего органа механизма, преодоление сил статического сопротивления, есть $P_{p.o} = M_{p.o} \cdot \omega_{p.o}$. Мощность $P_{p.o}$ может быть связана с преодолением реактивных сил на рабочем органе или активных, когда осуществляется привод, например, подъёмного механизма. В последнем случае $P_{p.o}$ частично или полностью идёт на увеличение потенциальной энергии поднимаемого груза $m_{rp} g \frac{dh}{dt} h_{rp}$. Это относится и к электроприводу турбомеханизмов, которые обеспечивают

перемещение энергоносителя по трубопроводу, преодолевая разницу в геодезических уровнях.

При работе электропривода часть энергии неизбежно теряется, рассеиваясь в виде теплоты. Суммарная мощность потерь ΔP_{Σ} складывается из потерь в обмотке электрического и электромеханического преобразователей, потерь, связанных с перемагничиванием стали, потерь в ёмкостных элементах и, наконец, потерь из-за наличия сухого и/или вязкого трения в механической части.

В соответствии с (2) возможно большое число сочетаний потоков мощности и их направлений в системе электропривода, поэтому весьма велико и число возможных энергетических режимов электропривода.

В [3, 4] показано, что для целей компенсации реактивной мощности в узлах нагрузки систем электроснабжения предприятий, имеются работоспособные технические решения для управления возбуждением синхронных двигателей и компенсационными преобразователями (КП) любых электроприводов переменного и постоянного тока со свойствами компенсации реактивной мощности.

Для промышленных установок характерно усложнение функций, выполняемых электроприводами, а также взаимная увязка этих функций в едином автоматическом цикле работы. Взаимодействие подсистем электропривода возникает как в силу общности технологического процесса, так и в результате осуществления задачи оптимального управления этим процессом. В цикле управления решаются задачи идентификации и оптимизации в энергосберегающем электроприводе, например, распределение ресурса установленной мощности компенсационного выпрямителя в звене постоянного тока двухзвенного преобразователя частоты синхронного или асинхронного электропривода переменного тока между технологической нагрузкой и реактивной нагрузкой [4]. Последняя должна быть равной компенсируемой реактивной мощности в распределительной сети. При этом должны быть осуществлены вычисления мощности искажений, а также необходимой величины напряжения на выходе КП с учётом внешней характеристики преобразователя. Следовательно, информационная составляющая систем энергосберегающего электрооборудования играет важнейшую роль в таких комплексах.

Любые системы управления, какую бы структуру они не имели, являются системами передачи и переработки информации.

Целью управления технологическим процессом (установкой), включая преобразования как энергии, так и продукта во всех переделах, является формирование определённой траектории изменения во времени общего вектора состояния (вектора параметров режима) $x^*(t)$, которым может быть описан технологический процесс, с желаемой вероятностью. Управление реализуется способами преобразований продукта, различных видов энергии, информации о состояниях продукта и энергии в целях достижения с заданной вероятностью $P(x^*)$ производственной цели $\|x^*(t) - x(t)\| < \varepsilon$.

Первостепенное значение для производства имеет не количество потреблённой электроэнергии, а числовые величины, характеризующие текущие параметры режима, такие как момент на валу электропривода и частота вращения этого вала, а для технологических установок – величины других переменных состояния технологического процесса. Энергосберегающие потребители в течение технологического процесса оцениваются дополнительно коэффициентом мощности и показателями качества электроэнергии в узле нагрузки.

Квантирование физических величин, характеризующих технологический процесс, позволяет перейти к информационным описаниям. Они эквивалентны описаниям в относительных приведенных единицах, но являются более универсальными.

При одновременном наличии m однородных дискретных состояний какого-либо параметра не обладающие логическим аппаратом измерительные органы просто получают

или суммируют информацию с датчиков J_D , так что $J = mJ_D$, или при непрерывном поступлении измеряемой величины x , когда $m = x/\Delta x$, они дают информацию в битах:

$$J = x/\Delta x, \quad (3)$$

где Δx - разрешающая способность чувствительного органа.

Возможность создания общесистемного языка моделирования следует из сходства математических описаний процессов различной физической природы, в том числе электрических и механических. Для примера рассмотрим основные законы, определяющие эти процессы, - закон Кулона и закон Ньютона:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} \text{ и } F = \frac{\gamma m_1 m_2}{r^2}, \quad (4)$$

где q_i , m_i – соответственно заряды и массы, находящиеся на расстоянии r друг от друга; остальные величины – известные константы.

Проквантируем соотношения в законах (4) условными квантами заряда Δq и массы Δm .

Поскольку при этом материальные свойства объекта (заряд $q/\Delta q$ и масса $m/\Delta m$) станут безразмерными, то и другое можно обозначать через M . Тогда, домножив числители и знаменатели выражений (4) на квадраты соответствующих «квантов», получим соответственно

$$F = M_1 M_2 \Delta q^2 / 4\pi\epsilon r^2 \text{ и } F = M_1 M_2 \Delta m^2 / \gamma r^2. \quad (5)$$

Чтобы полученные соотношения слились в одно, обозначим силовую проницаемость $\Delta q^2/\epsilon$ и $4\pi\Delta m^2\gamma$ через ξ , имеющую размерность Дж·м, одинаковую для обоих случаев, так что

$$F = \xi M_1 M_2 / 4\pi r^2. \quad (6)$$

Подобным образом могут быть преобразованы к универсальной форме и все другие физические уравнения. В результате получим формализованную основу для построения модели, в которой качественно различные материальные процессы подчиняются одинаковым закономерностям, отличающимися лишь в количественных проявлениях. Эти процессы будут отличаться величиной, но не размерностью, физических констант ξ , r , L , c и других.

В технических системах первичная физически воспринимаемая информация может синтезироваться в целостное восприятие J . Роль синтезатора заключается в представлении первичных информаций в виде компонент единого многомерного вектора информации J , т.е. сводится к геометрическому векторному сложению. Продуктом синтезатора будет являться восприятие, а значит и решение (управление). Вектор информации – восприятие J в отличие от своих компонент J_D или J_k , доставляемых отдельными датчиками, не имеет определённого материального носителя, а создаётся совокупным взаимодействием носителей этих компонент. Кроме того, говорить о том или ином законе распределения вероятностей можно, лишь имея всю совокупность представлений о процессе, то есть, имея целостную картину предметной области. Чтобы система (управления или информационная) имела такую картину, она должна обладать памятью и логикой, увязывающей отдельные явления в единое целое.

Необходимо решить вопрос об измерении всех участвующих в процессе управления величин, например, таких как энергетические показатели, показатели качества электроэнергии и другие характеристики оборудования и технологических процессов. Для этого необходимо логическое отражение действительности, то есть некоторых характеристик объектов и процессов. Необходимо математизировать логическое отражение путём обращения к формальной логике, законы которой должны получить математическое выражение. В формальной логике выделяется закон обратной зависимости объёма понятия n и его содержания – величины информационного потенциала H :

$$H = M/n, \quad (7)$$

где M – измеряемое содержание изучаемой или управляемой переменной, параметра процесса или объекта. Именуемая в формальной логике объёмом понятия информационная

ёмкость n численно равна количеству носителей, пошедших на формирование одного бита информационного потенциала H . Объем понятия может измеряться в программах, функциях, элементарных операциях, в битах данных.

Соотношение (7) позволяет измерять первичную чувственную информацию любого происхождения и природы, как непрерывную, так и дискретную. Для измерения дискретной информации J надо принять разрешающую способность равной «размеру» дискретного материального носителя. Например, информация о напряжении $x = 220$ В в электрической сети с точностью до $\Delta x = 1$ В равна 220 бит, а с точностью $\Delta x = 10$ В равна 22 бит, поскольку увеличение точности сопровождается пропорциональным увеличением информации.

При увеличении чувствительности прибора в K раз – в отличие от физически воспринимаемой информации J – неопределенность возрастёт не в K раз, а лишь на $\log K$.

Шеннон решил вопрос об измерении скалярных величин. Для дискретной информации:

$$H = - \sum_{k=1,m}(p_k \log(p_k)), \quad (8)$$

где m – число возможных значений параметра режима или системы; p_k – вероятность того или иного состояния измеряемой величины.

Так как всегда $H = \sum_{k=1,m}(p_k) = \int_{-\infty, \infty} f(x) dx = 1$, то для равномерных распределений при $p_k = 1/m = \text{const}$ и $f(x) = 1/x = \text{const}$, вычисление информации упрощается:

$$H = \log(m) = \log(x/\Delta x). \quad (9)$$

Например, сущность сигнала об уровне мощности искажений при вариациях углов управления двумя группами клапанов компенсационного преобразователя в диапазоне 1024 при условии равномерного распределения вероятности их состояния составляет $H = \log_2 1000 = 10$ бит.

Продуктом измерения, изучения или управления является знание или принимаемое решение – управление в нашем случае, выступающее в форме информационного потенциала H вектора физически воспринимаемой информации J . Знание (управление) – информационный потенциал явления H выступает в форме понятия. Это тоже информация, но в отличие от физически воспринимаемой информации J знание (управление, решение) представляет собой логическую информацию. То есть понятие не только не имеет определённого материального носителя, но даже и не соответствует никакому конкретному материальному объекту.

Объектом управления могут быть лишь системы, имеющие более одного состояния, причём одно или несколько из этих состояний, отвечающее оптимуму существования управляющей системы, выступает как цель управления. Цель может быть достигнута с вероятностью $p_{\text{цк}} < 1$, так что состояние k , соответствующее желаемой цели системы даже вследствие управления все же имеет некоторую неопределённость, оцениваемую энтропией процесса, называемую в [6] информационным потенциалом:

$$H_{\text{цели}} = - \sum_k p_{\text{цк}} \log(p_{\text{цк}}). \quad (10)$$

Если до управления система характеризовалась энтропией состояния $H_0 = - \sum_k p_{0k} \log(p_{0k})$, где p_{0k} – вероятность состояний системы до управления ею, то сущность управления составляет: $\Delta H = H_0 - H_{\text{цели}}$. Целью и смыслом всякого управления является изменение в ту или иную сторону этой априорной вероятности события до некоторого нового значения $p_{\text{усл}}$, где $p_{\text{усл}}$ – вероятность события при условии управления им. Этому значению $p_{\text{усл}}$ соответствует новое значение информационного потенциала: $H_{\text{усл}} = - \log(p_{\text{усл}})$.

Таким образом, сущность управления, осуществляемого источником информации, может быть охарактеризована некоторым информационным напряжением: $\Delta H = H_0 - H_{\text{усл}} = \log(p_{\text{усл}}/p_0)$. Из этого соотношения можно заключить, что информационное напряжение источника ΔH может быть как > 0 , когда его целью является увеличение вероятности события, так и < 0 , когда его целью является снижение вероятности события.

Напряжение источника информации, которым он обладает на холостом ходу, без информационной нагрузки (без учета внутреннего сопротивления – запаздывания в

источнике) в [5, 6] называют информационной движущей логикой (ИДЛ) и её можно обозначить h . Это – управляющий сигнал. ИДЛ – информация источника управляющего сигнала

Управление в общем случае – это реакция на изменение условий среды или параметров системы. Процесс работы информационной подсистемы обеспечения управления в условиях неизменности ситуации сводится к получению и анализу информации. Необходимый промежуток времени для логической обработки информации назовём временем усвоения τ . Среднее время усвоения информации называют информационным сопротивлением системы. Оно ограничивает скорость работы системы управления и создаёт запаздывание, за которое поступившая информация успевает устареть, τ обратно пропорционально пропускной способности системы, т.е. предельной скорости восприятия информации, на которую только способна система.

В линейных системах информационная сопротивляемость τ не зависит от средней скорости поступления информации: $I = \Delta J / \Delta t$, где I - информационный ток.

В линейных информационных цепях, которыми можно представлять системы управления при использовании информационного метода [DEN], вероятность того, что реальный период T поступления информации меньше среднего времени обработки информации τ , подчиняется закону $p = e^{-T/\tau \ln 2} = 2^{-T/\tau}$. Если учесть, что $H = \log_2 m$, то

$$H = \tau I. \tag{11}$$

Это соотношение подобно закону Ома для электрических цепей. Его называют информационным законом Ома [5, 6], где информационный ток определяется, как:

$$I = dJ/dt = 1/T_{cp} [\text{бит/с}], \text{ где } T_{cp} - \text{средний период поступления информации.}$$

Производительность САУ, связанную с обработкой информации, характеризует соотношение:

$$I * H = H * (dI/dt) = dC/dt = N, \tag{12}$$

где N - информационная мощность системы, C – содержание понятия.

Из (12) с учётом (11) получаем:

$$N = I^2 \tau = H^2 / \tau.$$

Обобщая приведённые соотношения можно писать:

$$H = J/n + I\tau = H_n + H_\tau. \tag{13}$$

Поскольку соотношения, соответствующие выражению (13), касаются не только настоящего, но и прошлого, то в такой логике присутствует подход, которого требует диалектика развития процессов. Но диалектика требует также рассмотрения явления в его возможном дальнейшем развитии в будущем. Предельный темп $1/\tau$, где τ – среднее время обработки единицы информации, может быть достигнут в общем случае по мере адаптации управляющей программы к процессам, протекающим в объекте управления. Темп обработки будет постоянно возрастать от 0 до $1/\tau$.

Пусть адаптация программы происходит с постоянной скоростью и занимает время Δt . Тогда предельное для данной части программы ускорение темпа распознавания данных составит: $1/\tau * \Delta \tau = 1/t^2_{\text{ускорения}}$, а величина, обратная этому предельному ускорению называется ригидность (индуктивность) L , которая имеет размерность квадрата времени. С учётом выражения $H = \log(m) = \log(x/\Delta x)$ получим:

$$H_L = L * (dI/dt). \tag{14}$$

Свойство ригидности (инерционности, индуктивности) объясняется неспособностью программного сегмента немедленно изменять алгоритм своей работы. Однако внешне эти свойства проявляются в активном противодействии управлению, т.е. в выработке встречного информационного напряжения, противодействующего управлению. Переходные процессы в информационных цепях такого характера будут описываться соответствующими дифференциальными уравнениями.

В самонастраивающихся технических системах ригидность сводится к инерции различной физической природы, которая характеризуется в любых инерционных звеньях

постоянной времени T . Причём, это та же самая постоянная времени, что и в информационной цепи, поскольку речь идет о двух сторонах: информационной и энергетической – одного и того же процесса управления.

Это обстоятельство означает, что нормированные, то есть, безразмерные, передаточные функции информационной и энергетической цепей одной и той же системы управления одинаковы по соответствующим каналам.

Но сочетание выражений (13) и (14) констатирует не только намерения, но и движение к цели с учетом предыстории:

$$H = H_n + H_\tau + H_L = J/n + I\tau + L*(dI/dt) = (1/n)*[I*dt + I\tau + L*(dI/dt)].$$

Из аналогии информационных и электрических цепей следует, что емкостные (с памятью) и ригидные информационные модули программного обеспечения могут оказывать заметное влияние на свойства рассматриваемых систем, поскольку на коротких временных интервалах ведут себя подобно источникам напряжения и тока. Работу любой управляющей программы можно рассматривать как циклически повторяющуюся последовательность различных структурных состояний и режимов. При этом однотипные источники не могут в этой временной последовательности соединяться друг с другом непосредственно, а лишь с разнотипными, или посредством дополнительного включения информационного сопротивления при последовательном соединении понятий (емкостей) или при параллельном соединении ригидностей (индуктивностей).

При информационной нагрузке информационный ток I создаёт падение информационного напряжения $I\tau_\epsilon$, которое снижает h до рабочего информационного напряжения:

$$\Delta H = h - I\tau_\epsilon.$$

Можно увеличить напряжение источника, либо уменьшить его внутреннее сопротивление до нужной величины, поскольку к подобным цепям применимы «Информационные законы Кирхгофа» [6].

Поэтому при проектировании источника для работы на определенную нагрузку (на заданный информационный ток) приходится с учетом внутреннего сопротивления завышать его ИДЛ на $I\tau_\epsilon$ с целью обеспечить заданную вероятность нужного события.

При этом под последовательным соединением нагрузок понимается не схемная, а временная последовательность поступления информации в нагрузки, что характерно для временной селекции. О последовательном соединении можно говорить только тогда, когда информация от источника либо сначала поступает в первую нагрузку и лишь после выполнения программы – во вторую, либо когда одна из нагрузок после выполнения всей программы сама передаёт её другой нагрузке. Общее время работы последовательно соединённых нагрузок должно равняться сумме времен отработки своих программ отдельными нагрузками.

При параллельном соединении нагрузок речь идёт о том, что несколько исполнительных органов, каждый из которых может в одиночку достичь цели, одновременно получают управляющую информацию и одновременно исполняют операции, необходимые для достижения цели, соответственно сокращая время ее достижения. Примером такого соединения можно считать известные технические решения, например, касающиеся устройств защиты элементов электропривода, которые выполняют разными способами одни и те же функции. Информационные токи обратно пропорциональны их информационным сопротивлениям. При этом источник должен обеспечить ток, равный сумме токов отдельных нагрузок. В противном случае источник снижает свое напряжение, то есть снижает вероятность достижения цели своим управлением.

Реальные информационные цепи часто представляют собой сложные комбинации источников информации и приёмников, не сводимые только к последовательным или

параллельным соединениям. В общем случае, применяя информационные законы Кирхгофа, составляем уравнения для узлов и контуров, решения которых позволяют находить информационные напряжения и токи, в том числе и в переходных режимах.

Например, рассмотрим информационную цепь заполнения памяти с ёмкостью n от источника информации с напряжением ΔH через сопротивление τ . τ – это время заполнения одной ячейки памяти. В непрерывных системах τ – это время заполнения минимально различимой доли памяти. Напряжение источника уравнивается:

$$\Delta H = \tau I + \Delta H'_n,$$

где $\Delta H'_n$ – информационное напряжение на памяти.

За время заполнения памяти ток будет изменяться, поэтому $\Delta H'_n = \int I dt$. Решение этих уравнений: $I = (\Delta H / \tau) e^{-(t/n\tau)}$. Обозначим $T = n \cdot \tau$ и назовем её постоянной времени T заполнения памяти. Обычно принято считать, что память заполняется практически при $t = (3-5) \cdot T$. В АСУ и САУ ток регламентирован и постояен в процессе заполнения памяти, например при передаче информации по каналам связи. Тогда будем иметь:

$$\Delta H = I^*(\tau + T/n). \quad (15)$$

Соотношение (8 15) позволяет определить ток заполнения памяти I при заданном времени заполнения $t = 5T$ и при заданной вероятности определённого состояния памяти после заполнения: $\Delta H = -\log_2(1/p_{\text{цел}})$. Переходя к изображениям по Лапласу получим передаточную функцию цепи заполнения памяти: $I(s)/\Delta H(s) = ns/(Ts+1)$.

Технические системы, которым приходится обучаться в процессе выполнения работы, вначале малоэффективны в работе, так как большую часть тока отправляют в память. Но по мере научения и заполнения памяти они все большую часть управляющего информационного тока реализуют в деле, то есть на нагрузке τ . Управление в процессе обучения требует от источника большей мощности, чем управление обучившимся объектом.

Ригидные цепи, хотя и трудно поддаются перестройке, весьма стойки к помехам, вызывающим кратковременные случайные изменения тока управления.

Инструментом исследования таких процессов, представленных причинно-следственными связями, является имитационное динамическое моделирование (ИДМ), которое построено на понятиях уровней (величины на выходе интегрирующих процессов – переменные состояния, вероятности попадания величин в пределы $0 < x(t) < x^*(t)$) и потоков (производные, характеризующие скорость изменения переменных состояния, плотности распределения вероятностей) [5]. Потоки и уровни связываются алгебраическими матричными зависимостями, логическими функциями или вероятностными матрицами, описывающими марковские процессы.

Информационные цепи позволяют применять к ним информационные законы Ома и Кирхгофа, определять правильность формируемой цепи при её синтезе, учитывая возможность параллельного и последовательного соединения источников информационного напряжения и информационного тока на основе применяемых в теории электротехники законов коммутации. Главное преимущество такого подхода заключается в возможности построения ИДМ в одних терминах описания гетерогенной системы электропотребления, характеризующейся в частности электромагнитными процессами, электромеханическими, информационными, а также энергетическими показателями, внешними нагрузочными характеристиками и другими функционалами параметров режима и параметров системы.

ИДМ энергосберегающего комплекса электропотребления в узле нагрузки представляет собой систему дифференциальных уравнений, правые части которых могут включать в себя всю указанную гамму вероятностных и логических зависимостей. Последние позволяют менять параметры модели в зависимости от величин переменных состояния и их функционалов, то есть в зависимости от режимов работы моделируемого

объекта. При этом нет необходимости в условиях линейности и стационарности. Такая модель в общем информационном представлении позволяет исследовать устойчивость комплекса электроприемников в узле нагрузки применительно к каждому из возможных режимов работы. Для этого могут быть применены любые методы теории автоматического управления. Авторам представляется, что наиболее оперативным методом исследования устойчивости многомерной системы является метод Гурвица.

Выводы

1. Информационная составляющая систем энергосберегающего электрооборудования играет важнейшую роль в управлении такими комплексами. Для ее реализации должны быть определены необходимые и достаточные требования в терминах электротехники, позволяющие разработчикам и наладчикам оценивать эффективность автоматических (или автоматизированных) систем управления, возможность их совершенствования и модернизации с использованием имеющегося оборудования, беря за основу алгоритмы управления электрооборудованием.

2. Целью и смыслом всякого управления является изменение в ту или иную сторону априорной вероятности события до некоторого нового значения. Таким образом, сущность управления, осуществляемого источником информации, может быть охарактеризована информационным напряжением, являющимся логической, а не энергетической характеристикой процесса управления.

3. Показатели работоспособности систем, такие, как коэффициенты усиления производительности программных модулей, вероятность достижения цели, времена переходных процессов при информационном обмене, зависящие от информационного сопротивления, ригидности, объема памяти и уровня информационного напряжения – являются объективными факторами оценки функциональной эффективности не только информационных, но любых материальных производственных систем.

4. Управление сводится к коммутации программных инструкций, которые должны соединяться по правилам «источников потенциала» и «источников тока», которыми на коротком промежутке времени в данной логике являются соответственно понятия (емкости) и ригидности (индуктивности).

5. При построении микропроцессорных систем управления с ограниченным быстродействием целесообразно заранее получить на моделях решения задач во всем диапазоне изменения их переменных и таблицы решений представить как массивы для выбора управляющих данных по совокупности входных сигналов. Это позволит избежать влияния «реактивных» параметров информационных цепей в системах управления.

Библиографический список

1. **Хватов, О.С.** Интеллектуальные средства управления высокоэффективной дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения / О.С. Хватов, А.Б. Дарьенков // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3: в 5 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 4. С. 126-131.
2. **Хватов, О.С.** Высокоэффективная дизель-генераторная электростанция переменной частоты вращения на основе машины двойного питания / О.С. Хватов [и др.] // Приводная техника. – М., 2010. №5. С. 14–19.
3. **Титов, В.Г.** / Анализ использования синхронных двигателей в качестве компенсаторов реактивной мощности / В.Г. Титов, А.С. Плехов // Электрооборудование промышленных установок: труды Нижегородского государственного технического университета. – Нижний Новгород, 2005. С. 5–7.

4. **Плехов, А.С.** Учет мощности искажений при энергосберегающем управлении электроприводами / А.С. Плехов, В.Г. Титов, К.А. Бинда // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева.- Нижний Новгород, 2011. № 4(91). С. 203–210.
5. **Денисов, А.А.** Теория больших систем управления / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 288 с.
6. **Денисов, А.А.** Информационные основы управления / А.А. Денисов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. – 72 с.

*Дата поступления
в редакцию 24.07.2012*

A.B. Darienkov¹, A.S. Plehov²

INFORMATION APPROACH TO DEVELOPMENT INTELLECTUAL MANAGERIAL SYSTEM ENERGY ECONOMY ELECTRICAL DRIVE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Ltd «Energy Economy»²

The information approaches are discussed to analysis and syntheses algorithm control functioning the systems consumption to energy on example energy economy complex with use the compensation rectifier in section of the direct current frequency operated electrical drive.

Key words: energy economy generating complexes of variable velocity of the rotation; the compensation converter of the frequency; information compatibility; the interconnected systems electrical; the method dynamic analogy for study of compatibility of the subsystems consumption of energy.