

Ф. Б. ГРИНЕВИЧ

(Новосибирск)

**ПРИМЕНЕНИЕ
ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Рассмотрены различные виды автоматических электроизмерительных устройств с экстремальным регулированием и параметрической модуляцией. Приведены некоторые варианты структурных схем таких устройств, описан их принцип действия.

Методы экстремального регулирования (оптимизации) и параметрической модуляции получили широкое распространение в различных областях техники [1]. Поиск экстремума (максимума или минимума) осуществляется в настоящее время во многих автоматически действующих устройствах. Это обеспечивает максимальную эффективность их работы при минимальных расходах топлива, химических реагентов и т. п. Первые работы по экстремальному регулированию принадлежат советским ученым. В 1940 г. Ю. С. Хлебцевич предложил схему регулятора поддержания максимального значения коэффициента полезного действия [1]. В. В. Казакевич предложил и исследовал различные варианты осуществления экстремального регулирования [2, 3] (1945—1946 гг.). Из работ зарубежных ученых следует отметить монографию Дрейпера и Ли [4], которая в значительной степени способствовала широкому применению методов экстремального регулирования в технике. Экстремальные регуляторы в настоящее время применяются для поиска и поддержания максимального коэффициента полезного действия двигателей, поиска минимального расхода топлива на единицу мощности, выбора оптимальных режимов в химическом производстве, в металлургии и в других отраслях техники. Обойденными в этом отношении оказались электроизмерительная техника и приборостроение.

Многие наиболее высокоточные электроизмерительные устройства представляют собой сложные системы, в основу работы которых положено приведение к нулю разности скалярных или комплексных величин. В первых образцах таких устройств приведение к нулю разности величин осуществлялось посредством ручного уравнивания. В дальнейшем возникла необходимость в автоматическом уравнивании. Был создан целый ряд автоматических электроизмерительных устройств, в основу которых положены обычные системы автоматического регулирования (например, автоматические потенциометры постоянного тока). Однако оказалось, что применение обычных методов автоматического регулирования не всегда позволяет строить автоматические измеритель-

ные приборы с удовлетворительными эксплуатационными характеристиками. Очевидно, что наибольшие затруднения в применении обычных методов автоматического регулирования возникают при осуществлении электроизмерительных приборов с приведением к нулю разности комплексных величин (в первую очередь это мосты и компенсаторы переменного тока). Упрощение процесса уравнивания и «подгонка» его под обычную систему автоматического регулирования в этих случаях ведет, как правило, к недопустимому снижению метрологических и эксплуатационных характеристик приборов. Таким образом, возникла необходимость в применении новых методов построения автоматических измерительных устройств. Одним из таких методов является экстремальное регулирование и параметрическая модуляция. Применение их позволяет создавать самонастраивающиеся системы и разрабатывать исключительно высокоточные приборы. Весьма существенно, что при этом формирование регулирующих воздействий производится не на основе сравнения абсолютных значений параметров, а путем выделения небольших вариаций амплитуды или фазы выходной величины устройства. Так как существующие методы выделения вариаций (синхронное детектирование, корреляция и т. п.) позволяют обнаруживать очень малые периодические изменения, то приборы с экстремальным регулированием и параметрической модуляцией могут быть исключительно высокочувствительными.

Рассмотрим некоторые варианты осуществления электроизмерительных систем с экстремальным регулированием и параметрической модуляцией.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Отличительной особенностью измерительных систем переменного тока является то, что их действие основано на приведении к нулю разности комплексных величин. Так как комплексная величина характеризуется модулем (амплитудой) и фазовым углом, то можно представить следующие виды таких систем: амплитудные экстремальные системы, фазовые экстремальные системы, модуляционные нулевые фазовые системы и комбинированные амплитудно-фазовые модуляционные системы.

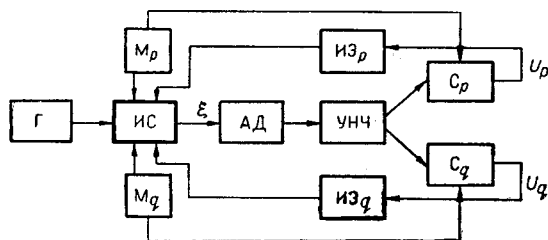


Рис. 1.

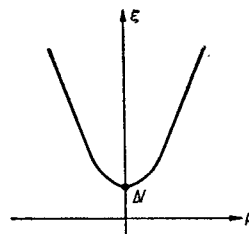


Рис. 2.

Структурная схема амплитудной экстремальной системы при уравнивании по двум параметрам p и q представлена на рис. 1. С измерительной схемы ИС, питаемой генератором Γ , выходной сигнал ξ подается на амплитудный детектор АД, усилитель низкой частоты УНЧ и на селекторы C_p и C_q . Сюда же поступают сигналы с модуляторов M_p и M_q , осуществляющих небольшие поисковые изменения параметров p и q . Уравнивание измерительной схемы производится исполнитель-

ными элементами ИЭ_p и ИЭ_q, управляемыми регулирующими воздействиями U_p и U_q . Зависимость выходного сигнала измерительной схемы ξ от p и q представляет собой коническую поверхность с вершиной в точке равновесия (например, для координатных компенсаторов конус будет прямым круговым). На рис. 2 представлена зависимость ξ только от одного параметра p (сечение конуса плоскостью $q = \text{const}$). Точка условного равновесия по p (точка минимума) обозначена N . Знак приращения ξ будет зависеть не только от знака приращения p , но и от того, по какую сторону от точки N находится точка модуляции.

Структурная схема фазовой экстремальной системы почти не отличается от схемы амплитудной системы. Необходимо лишь вместо амплитудного детектора АД поставить фазовый детектор. Принцип действия

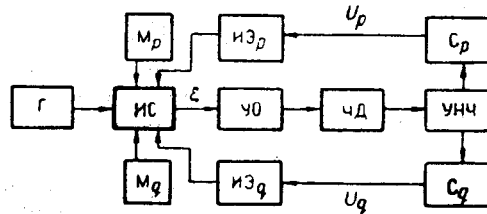


Рис. 3.

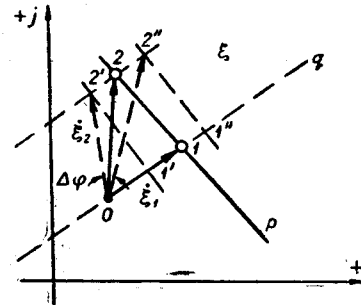


Рис. 4.

амплитудной и фазовой экстремальных систем одинаков: уравнивание осуществляется путем поиска минимума амплитуды или фазы выходного сигнала измерительной схемы. Частным случаем фазовых экстремальных систем могут быть квадратурные или компонентные системы, в которых при уравнивании производится поиск минимума одной из компонент выходного сигнала измерительной схемы. Фаза, в отличие от амплитуды, является величиной, имеющей знак. Поэтому в тех случаях, когда при поиске экстремума фазы возможен переход через нуль и изменение знака фазового угла, необходимо применять фазовые детекторы, не чувствительные к знаку (одна из схем подобных детекторов описана в [5]).

Структурная схема модуляционной нулевой фазовой системы представлена на рис. 3. Она аналогична схеме, приведенной на рис. 1. Своеобразие ее в том, что выделение огибающей фазы производится усилителем-ограничителем УО и частотным детектором ЧД (как известно, вариация фазы может быть сведена к вариации частоты). Принцип действия модуляционной нулевой фазовой системы ясен из рис. 4, на котором в комплексной плоскости ξ изображены линии уравнивания по параметрам p и q и вектор ξ (рассмотрен малый участок диаграммы, и линии уравнивания представлены отрезками прямых). В отличие от рассмотренных систем в фазовой нулевой системе для уравнивания по параметру p необходимо производить модуляцию параметра q . Если измерительная схема не уравновешена по параметру p , то модуляционные изменения параметра q будут вызывать изменения фазового угла вектора ξ на $\Delta\varphi$ (точки 2, 2', 2''). Если схема уравновешена по p (точка 1), то модуляции параметра q (точки 1', 1'') вызовут изменения лишь амплитуды вектора ξ . Вариация фазы при этом будет отсутствовать (для устранения изменений амплитуды в структурной схеме предусмотрен усилитель — ограничитель УО).

Комбинированные модуляционные системы сочетают в себе признаки экстремальных амплитудных и фазовых нулевых измерительных систем. Отличие от последних состоит в том, что в комбинированных системах при модуляции одного параметра можно формировать регулирующие воздействия для уравнивания измерительной схемы по двум параметрам. При этом одна из систем регулирования является экстремальной, а другая — обычной, и нет необходимости во втором модуляторе, что упрощает прибор.

Рассмотренные способы построения измерительных систем могут быть использованы при разработке автоматических мостов и автоматических компенсаторов переменного тока. В качестве примера можно привести схемы, описанные в [6, 7, 8].

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

К измерительным системам постоянного тока можно условно отнести все системы, работа которых основана на приведении к нулю разности скалярных величин. Возможны два вида модуляционных систем постоянного тока: системы с поочередной подачей измеряемого и образцового сигналов и системы с модуляцией образцового сигнала или параметра. Один из вариантов структурной схемы систем первого вида показан на рис. 5. Измеряемый ξ_x и образцовый ξ_0 сигналы (величины) подаются соответственно на делитель Д и измерительную схему ИС. Коммутирующее устройство КУ осуществляет поочередную подачу сравниваемых величин на усилитель У. С усилителя У модулированный сигнал поступает на квадратурный детектор КД, выходное напряжение которого управляет уравниванием систем путем воздействия на измерительную схему. Если сигналы, поступающие на вход КУ, равны, то модуляция отсутствует и выходное напряжение КД равно нулю. Система уравновешена. Работой КУ и КД управляет коммутационный генератор КГ. Делитель Д служит для изменения пределов измерения. Аналогичные системы используются в измерительной технике уже давно, в частности, при измерении силы света, при измерении радиоактивных излучений и т. д.

Принцип построения системы постоянного тока с модуляцией и автоматическим поиском был предложен в [9]. Необходимо отметить, что в линейных системах постоянного тока знак выходного сигнала однозначно определяет необходимое направление регулировки уравнивающего параметра и функциональная зависимость, связывающая выходной сигнал и регулируемый параметр, не является экстремальной. Поэтому непосредственное применение поиска экстремума в данном случае не имеет смысла. Однако во многих случаях для автоматического уравнивания систем постоянного тока необходимы стабильные усилители постоянного тока, осуществление которых сопряжено с определенными трудностями. Применение модуляции позволяет использовать усилители переменного тока для усиления выходных сигналов, что может оказаться более перспективным. Кроме того, некоторые высокочувствительные указатели постоянного тока (например, схе-

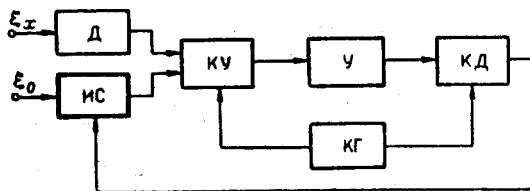


Рис. 5.

мы, разработанные Г. М. Али-Заде) нечувствительны к знаку. Применение модуляции целесообразно и в этом случае.

На рис. 6 представлен один из возможных вариантов модуляционной системы постоянного тока с поиском экстремума. Существенным элементом системы является экстрематор Э [9], который превращает сигналы разных знаков в сигнал одного знака и, таким образом, монотонную

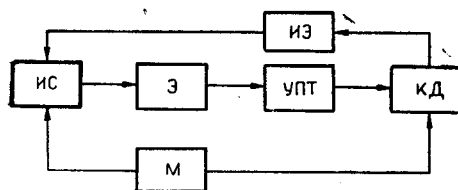


Рис. 6.

функцию, пересекающую ось абсцисс, превращает в экстремальную, имеющую минимум в нулевой точке. С измерительной схемы ИС сигнал сначала поступает на экстрематор Э, а затем на усилитель переменного тока УПТ и квадратурный детектор КД. Уравновешивание схемы осуществляется исполнительным элементом ИЭ. Модулятор М управляет квадратурным детектором КД и производит модуляцию в измерительной схеме.

На основе изложенного осуществлена разработка ряда экстремальных систем переменного тока с параметрической модуляцией. К ним относятся модуляционные мосты переменного тока, цифровые экстремальные мосты переменного тока и цифровые самокомпенсированные уровнемеры. Применение параметрической модуляции и экстремального регулирования позволило исключить влияние амплитудно-фазовых искажений на работу приборов, уменьшить или устранить связь контуров уравновешивания, достигнуть высокого быстродействия и повысить точность приборов в 10-20 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая оптимизация управляемых систем. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
2. В. В. Казакевич. Экстремальный регулятор. Авторское свидетельство № 66335. Бюллетень изобретений, 1946, № 10.
3. В. В. Казакевич. Об экстремальном регулировании. Автореф. дисс. М., МВТУ, 1945.
4. С. S. Дгарег, Y. T. Li. Principles of Optimalizing Control Systems and an Application to the Internal Combustion Engine. N. Y., 1951.
5. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
6. Ф. Б. Гриневич. Принципы построения автоматических мостов переменного тока с экстремальным регулированием. Измерительная техника, 1960, № 12.
7. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты с экстремальным регулированием при фазовой селекции регулирующих воздействий. Измерительная техника, 1962, № 2.
8. Ф. Б. Гриневич. О построении модуляционных автоматических мостов переменного тока с амплитудно-фазовым детектированием. Измерительная техника, 1962, № 11.
9. А. Н. Касперович. Об использовании автоматического поиска для определения знака небаланса в схемах уравновешивания постоянного тока. Измерительная техника, 1963, № 1.

Поступила в редакцию
18 августа 1964 г.