

4. А. А. Бессонов. Универсальный электронный уровнемер.— ИВУЗ, Приборостроение, 1962, № 2.
5. H. A. Clark, P. B. Vanderlin. Double-ratio a. c. Bridges with Inductively Coupled Ratio Arms.— Proc. IEE, 1949, v. 96, p. III.
6. К. М. Соболевский, Ю. А. Шакола. Защита мостов переменного тока. Киев. Изд-во АН УССР, 1957.

Поступила в редакцию
28 декабря 1965 г.,
окончательный вариант —
11 мая 1966 г.

УДК 621.317.733.025+621.317.33

М. А. АХМАМЕТЬЕВ, Ю. В. ТРОИЦКИЙ
(Новосибирск)

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УРАВНОВЕШИВАНИЯ МОСТОВЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В настоящее время широко известны следующие методы поиска экстремума [1]: метод Гаусса — Зайделя, метод наискорейшего спуска и метод градиента.

Метод Гаусса — Зайделя применительно к мостовым измерительным цепям заключается в поочередном регулировании уравновешивающих параметров p и q . Сначала при неизменном параметре q изменяют параметр p до тех пор, пока напряжение

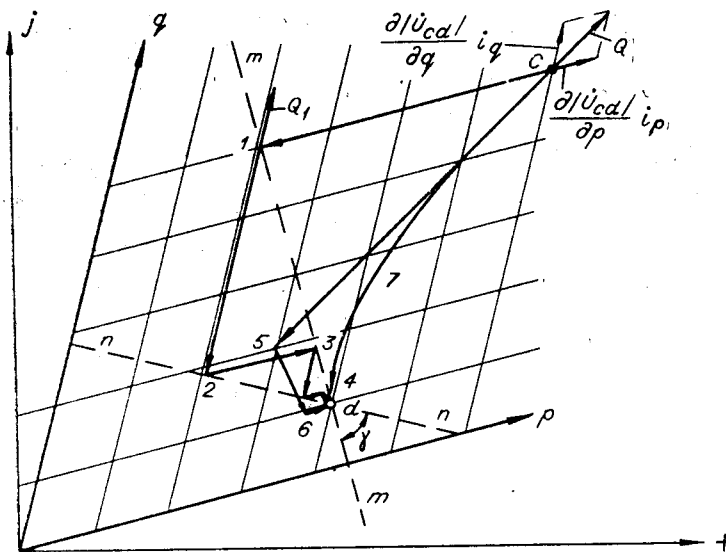


Рис. 1.

неравновесия не достигнет минимума. Затем при постоянном параметре p изменяют параметр q до достижения нового минимума. Регулировка продолжается до тех пор, пока напряжение неравновесия \dot{U}_{cd} не станет равным нулю. Траектория конца вектора \dot{U}_{cd} на топографической диаграмме мостовой цепи при уравновешивании по методу Гаусса — Зайделя изображается ломаной линией $c-1-2-3-4-d$ (рис. 1).

Уравновешивание по методу Гаусса — Зайделя широко применяется в неавтоматических мостах с амплитудными указателями и начинает использоваться в автоматических мостах [2, 3].

Метод наискорейшего спуска применительно к уравниванию мостовых измерительных цепей заключается в том, что сначала определяется направление вектора

$$\vec{Q} = \frac{\partial |\dot{U}_{cd}|}{\partial p} i_p + \frac{\partial |\dot{U}_{cd}|}{\partial q} i_q,$$

единичные векторы i_p и i_q которого совпадают по направлению с осями p и q . Затем производится одновременное изменение обоих параметров p и q таким образом, чтобы конец вектора \dot{U}_{cd} перемещался по лучу $c-5$ (см. рис. 1), направление которого противоположно вектору \vec{Q} . Изменение параметров продолжается до тех пор, пока модуль напряжения неравновесия $|\dot{U}_{cd}|$ не достигнет минимального значения (точка 5). В точке 5 снова определяется вектор \vec{Q} и снова производится перемещение точки c в направлении $5-6$, обратном вектору \vec{Q} . Характер процесса уравнивания по методу наискорейшего спуска можно представить ломаной линией $c-5-6-d$.

Так как в мостовых измерительных цепях угол между линиями уравнивания (угол сходимости γ), как правило, отличается от $\frac{\pi}{2}$, то единичные векторы p и q неортогональны, как это предполагается в чистом методе наискорейшего спуска [1]. Следовательно, вектор \vec{Q} не равен градиенту $\text{grad} |\dot{U}_{cd}|$. Последнее приводит к тому, что метод наискорейшего спуска при уравнивании мостовых измерительных цепей не всегда дает тот выигрыш в числе регулировок (в быстродействии), который можно было бы ожидать, применяя его. Например, если в исходном состоянии конец вектора \dot{U}_{cd} находится в точке 1 (или в любой другой точке, лежащей на линиях tm и pn), то направление вектора \vec{Q} будет совпадать с направлением линии уравнивания. Следовательно, процессы уравнивания по методу наискорейшего спуска и по методу Гаусса—Зайделя будут изображаться одной и той же ломаной линией $1-2-3-4-d$ (см. рис. 1). Учитывая также то, что в реальных устройствах нахождение вектора \vec{Q} и обеспечение одновременного изменения уравнивающих параметров связано со значительным усложнением системы уравнивания, можно полагать, что применение метода наискорейшего спуска в непосредственном виде в автоматических мостах нецелесообразно.

Метод градиента применительно к мостам переменного тока отличается от метода наискорейшего спуска тем, что направление вектора уточняется либо дискретно через каждый шаг, либо непрерывно. В последнем случае процесс уравнивания может быть представлен линией $c-7-d$ (см. рис. 1). Этот метод обеспечивает наибольшую скорость поиска и довольно просто осуществляется в экстремальных мостах с непрерывной модуляцией уравнивающих параметров [4], если измерения производятся на частоте свыше 500—1000 гц. Если частота меньше 500 гц, то система уравнивания существенно усложняется. Некоторым недостатком экстремальных мостов с уравниванием по методу градиента является то, что для их уравнивания требуются специальные модуляторы различных параметров, эффективные схемы которых еще не разработаны.

Из изложенного следует, что при построении систем уравнивания экстремальных мостов наиболее целесообразно применять следующие методы поиска экстремума: метод градиента и метод Гаусса—Зайделя. Последний в некоторых случаях, например при измерении на низких частотах (ниже 500 гц), является более предпочтительным. К достоинствам этого метода следует также отнести то, что он позволяет автоматизировать известные мостовые измерительные цепи без существенных их переделок.

Функциональная схема автоматического экстремального моста с уравниванием по методу Гаусса—Зайделя приведена на рис. 2.

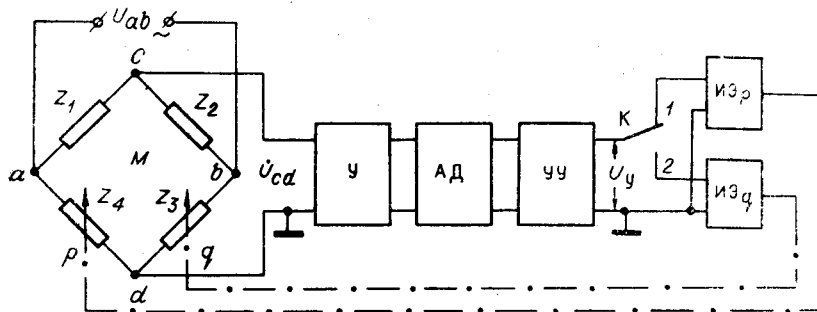


Рис. 2.

Напряжение неравновесия \dot{U}_{cd} мостовой измерительной цепи M усиливается усилителем Y , выпрямляется амплитудным детектором АД и подается на устройство управления УУ, которое формирует управляющее напряжение U_y и управляет ключом K , поочередно подключающим исполнительные элементы к каналу регулирования.

Рассмотрим принцип действия устройства. Предположим, что в исходном состоянии мостовая измерительная цепь не уравновешена и ключ находится в положении 1. Тогда исполнительный элемент ИЭ $_p$ будет изменять параметр p . Если при этом напряжение неравновесия $|\dot{U}_{cd}|$ увеличивается, то устройство управления формирует сигнал реверса и параметр p начнет изменяться в обратном направлении до перехода напряжения $|\dot{U}_{cd}|$ через минимум, что вызовет второй сигнал реверса. После второго сигнала реверса ключ K перебрасывается из положения 1 в положение 2 и система осуществляет минимизацию напряжения $|\dot{U}_{cd}|$ по параметру q .

Для улучшения метрологических и динамических свойств моста устройство управления выполняется таким образом, чтобы управляющее напряжение U_y (скорость регулирования параметров p и q) было пропорционально модулю напряжения неравновесия мостовой цепи [3], а пробные и рабочие движения были совмещены.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Фельдбаум. Вычислительные устройства в автоматических системах. М., Физматгиз, 1959.
2. М. Б. Лейтман, Г. А. М. Али-Заде и Ю. В. Троицкий. Автоматический мост переменного тока. Авторское свидетельство № 177966. Бюллетень изобретений, 1966, № 2.
3. Ф. Б. Гриневич, М. А. Ахмаметьев. Автоматический экстремальный мост переменного тока с поочередным уравниванием. Авторское свидетельство № 187884. Бюллетень изобретений, 1966, № 21.
4. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты переменного тока. РИО СО АН СССР, Новосибирск, 1964

Поступила в редакцию
25 мая 1966 г.

УДК 621.317.727.2.016.35

С. Г. РАБИНОВИЧ
(Ленинград)

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФОТОГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКИХ АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Автоколебания фотогальванометрических автокомпенсационных приборов (ФАП) чаще всего возникают из-за инерционности схемы управления. Характеристическое уравнение, необходимое для анализа устойчивости этих приборов и учитывающее постоянную времени управления, в наиболее удобном виде приведено в [1]:

$$(J s^2 + P s + W_M)(\tau s + 1) + W_{эл} = 0, \quad (1)$$

где J, P, W_M — соответственно момент инерции, коэффициент успокоения и удельный механический устанавливающий момент гальванометра;

s — оператор Лапласа;

τ — постоянная времени схемы управления;

$W_{эл}$ — удельный электрический устанавливающий момент, возникающий у гальванометра благодаря отрицательной обратной связи; формулы для вычисления $W_{эл}$ приведены в [2, 3].

Выражение (1) удобно для анализа устойчивости, так как справедливо для самых различных фотогальванометрических автокомпенсационных приборов: компенсаторов тока, компенсаторов напряжения, компенсаторов механических моментов, стабилизаторов и др. Во всех этих случаях удельный электрический устанавливающий момент определяется разными формулами, однако влияние его на динамику прибора остается одним и тем же.