

## ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

М. В. ЛУКЬЯНЕНКО, А. Н. ЛОВЧИКОВ, В. В. ХРАМОВА

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин)

При разработке схем систем электропитания (СЭП) автономных объектов, работающих под водой, в космосе, в тепловых, радиационных и других камерах, основным источником энергии которых являются термоэлектрические, термоэмиссионные, фотоэлектрические, изотопные, ядерные и другие преобразователи, проведение лабораторных экспериментов затруднено, а иногда практически невозможно. Применение эквивалентов источников энергии значительно упрощает эту задачу [1].

Функциональная схема эквивалента изображена на рис. 1. Работа

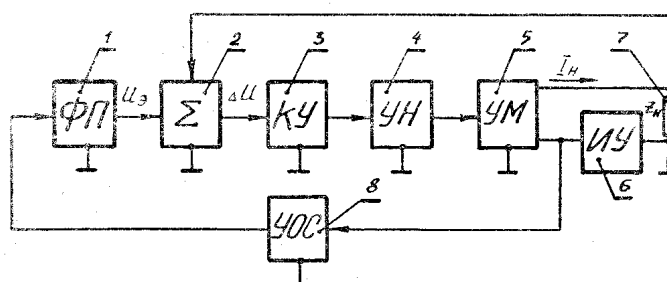


Рис. 1. Функциональная схема эквивалента автономных источников энергии

эквивалента осуществляется следующим образом. Требуемая внешняя характеристика источника энергии формируется с помощью функционального преобразователя ФП(1), выполненного на диодных элементах. При изменении сопротивления нагрузки изменяется напряжение, снимаемое с измерительного устройства ИУ(6), которое через усилитель обратной связи УОС(8) поступает на вход ФП(1). С выхода ФП(1) снимается эталонное напряжение, которое соответствует действительному напряжению на выходе реального источника энергии для данного тока нагрузки. Эталонное напряжение сравнивается с напряжением обратной связи, пропорциональным фактическому на нагрузке. Сигнал рассогласования  $\Delta U$  изменяет напряжение на нагрузке до тех пор, пока разность между эталонным напряжением и напряжением на нагрузке не станет равной нулю. Таким образом, с достаточной степенью точности, эквивалент воспроизводит внешнюю характеристику реального источника энергии.

К эквиваленту предъявляются жесткие требования по обеспечению статических и динамических свойств реального источника энергии. Динамические характеристики эквивалента в основном зависят от динамики усилителя мощности. В данной работе рассмотрен эквивалент, у которого в качестве усилителя мощности используется электромашинный усилитель (ЭМУ). Статическая точность воспроизведения внешней характеристики определяется ошибкой:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \quad (1)$$

где  $\delta_1$  — ошибка воспроизведения кривой функциональным преобразователем,

$\delta_2$  — ошибка отслеживания эталонного напряжения системой регулирования,

$\delta_3$  — ошибка от нагрева ЭМУ.

Ошибку  $\delta_1$  тщательным подбором элементов ФП можно свести к минимуму. Поэтому точность в основном определяется ошибками  $\delta_2$ , которая зависит от статического коэффициента усиления разомкнутого контура системы регулирования, и  $\delta_3$ .

$$\delta_2 = \frac{1}{1 + k_1}, \quad (2) \quad k_1 = k_{y1} k_{ЭМУ}, \quad (3)$$

где

$k_{y1}$  — коэффициент усиления дополнительных усилителей,

$k_{ЭМУ}$  — коэффициент усиления ЭМУ.

Статический коэффициент усиления и частотные характеристики ЭМУ в значительной степени зависят от величины нагрузки, так как сопротивление нагрузки входит в его передаточную функцию [2]. Кроме того, коэффициент усиления является величиной неоднозначной из-за гистерезисной характеристики ЭМУ.

Для стабилизации характеристик была введена жесткая обратная отрицательная связь (рис. 2), которая значительно улучшает статические и динамические характеристики электромашинного эквивалента.

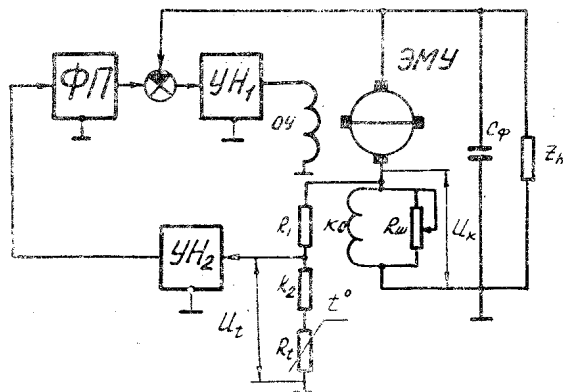


Рис. 2. Схема устранения неустойчивости параметров электромашинного эквивалента

При длительной работе ЭМУ в номинальном режиме происходит нагрев его обмоток и, следовательно, увеличение их сопротивления. Изменение сопротивлений обмотки управления обмотки дополнительных полюсов и обмотки якорной цепи на работу схемы практически не влияет. Ошибку  $\delta_3$  определяет в основном нагрев компенсационной обмотки.

Экспериментально установлено, при работе на ЭМУ-71А, что уже после получасовой работы эквивалента в номинальном режиме увеличение сопротивления компенсационной обмотки составляет 8%. Оценим, какова в этом случае будет ошибка  $\delta_3$ . Из рис. 2 видно, что увеличение сопротивления компенсационной обмотки равносильно увеличению коэффициента усиления усилителя УН<sub>2</sub>, так как с компенсационной обмотки снимается напряжение, пропорциональное току нагрузки, и усиливается усилителем УН<sub>2</sub>. По этой причине напряжение и ток нагрузки эквивалента при неизменном сопротивлении нагрузки будут уменьшаться. Если коэффициент усиления ФП на некотором участке характеристики считать постоянным, то закон формирования эталонного напряжения можно записать в упрощенном виде:

$$U_э = U_{xx} - I_n R_k k_{y_2} k_{фп}, \quad (4)$$

где

$U_э$  — эталонное напряжение на выходе ФП;

$I_n$  — ток нагрузки;

$R_k$  — общее сопротивление компенсационной обмотки и шунта;

$k_{y_2}$  — коэффициент усиления усилителя УН<sub>2</sub>;

$k_{фп}$  — коэффициент усиления ФП;

$U_{xx}$  — напряжение холостого хода эквивалента.

Напряжение нагрузки и эталонное напряжение связаны соотношением:

$$U_n = U_э k_2, \quad (5)$$

где  $k_2$  — коэффициент передачи замкнутого контура.

На основании вышеизложенного можно записать:

$$U_э - \Delta U_э = U_{xx} - (I_n - \Delta I_n)(R_k + \Delta R_k) k_{y_2} k_{фп}, \quad (6)$$

$$U_n + \Delta U_n = (U_э + \Delta U_э) k_2. \quad (7)$$

Пренебрегаем величинами второго порядка малости и получаем уравнение в отклонениях:

$$\Delta U_n = -\Delta I_n R_k k_{y_2} k_{фп} k_2 + \Delta R_k I_n k_{y_2} k_{фп} k_2. \quad (8)$$

Из уравнения (8) определяем ошибку  $\delta_3$

$$\delta_3 = \frac{\Delta U_n}{U_n} = \frac{\Delta I_n}{I_n} = \frac{R_k k_{y_2} k_{фп} k_2}{R_n + R_k k_{y_2} k_{фп} k_2} \cdot \frac{\Delta R_k}{R_k}. \quad (9)$$

Из полученного уравнения (9) видно, что при изменении  $R_k$  в результате нагрева относительное изменение напряжения и тока нагрузки тем больше, чем больше нагружена система.

В случае работы эквивалента в номинальном режиме при изменении сопротивления компенсационной обмотки на 8% относительное изменение напряжения и тока составляет около 4,5%.

Для компенсации этого явления была введена коррекция, представляющая собой делитель напряжения, снимаемого с компенсационной обмотки, в одно из плеч которого входит терморезистор (рис. 2). Терморезистор вводится внутрь ЭМУ в районе щеточных контактов.

Принцип действия коррекции аналогичен работе транзистора с температурной стабилизацией. Введение терморезистора позволило добиться точности воспроизведения внешней характеристики с учетом ошибок  $\delta_1$  и  $\delta_2$  порядка 1%. Наилучшие результаты дало применение терморезистора Т8Р.

Таким образом, устранение вышеуказанных явлений и соответствующая коррекция динамических характеристик позволяет построить электромашинный эквивалент автономных источников питания, удовлетворяющий предъявляемым к нему требованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Лукьяненко, В. Ф. Трефилов, Е. А. Мизрах, Н. Б. Кобелев. Метод физического моделирования вольт-амперных характеристик автономных источников питания. Тр. 11 Краевой конференции, посвященной Дню радио, ИФ СО АН СССР, Красноярск, 1971.
2. Е. С. Блейз, Ю. Н. Семенов, Б. К. Чемоданов, П. М. Якименко. Динамика электромашинных следящих систем. М., «Энергия», 1967.