

УДК.: 621.039.667.4:621.313.822

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

БОЧКАРЕВ И.В., ГУНИНА М.Г., ГАЛБАЕВ Ж.Т.
 КГТУ им. И.Раззакова
izvestiva@ktu.aknet.kg

Описана конструкция однодисковых электромагнитных устройств с постоянными магнитами. Предложена методика расчета изменения магнитного поля в переходных режимах работы, позволяющая рассчитывать параметры быстрodeйствия

The design of a single-disc electromagnetic devices with permanent magnets. The technique of calculating the magnetic field changes in the transitional modes, which allows to compute the performance

В современных системах управления широко используются исполнительные элементы, выполненные в виде силовых электромагнитных устройств с электромагнитным приводом (ЭМУ). Такие механизмы применяют для дистанционного управления соединением валов и передачи момента от одного вала к другому, для быстрого торможения и ограничения выбегов валов после отключения питания, для позиционирования исполнительных органов и т.д. Одним из путей улучшения эксплуатационных показателей ЭМУ является использование в их приводе постоянных магнитов (ПМ) [1]. Такие ЭМУ нашли в последнее время широкое применение в станкостроении, робототехнике, в мехатронных системах и т.д. Поэтому исследования электромагнитных устройств с постоянными магнитами (ЭМУ ПМ) является весьма актуальной задачей.

В ЭМУ магнитное поле ПМ используется для создания усилия между соответствующими конструктивными элементами, а обмотка управляющего электромагнита (УЭ) служит или для компенсации этого поля, или для изменения его направления.

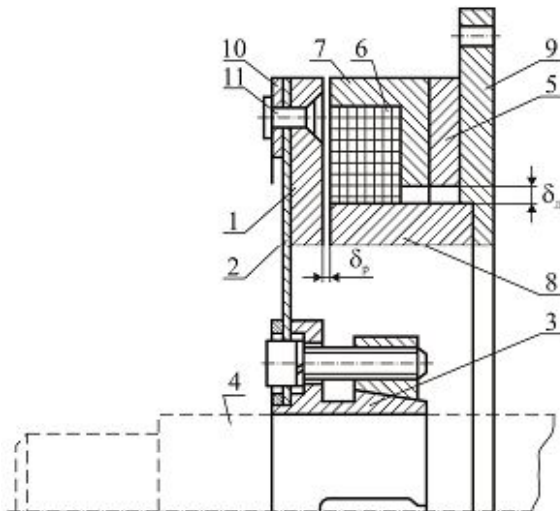


Рис. 1. Конструкция активных частей фрикционного ЭМУ ПМ

На рис. 1 изображена компоновка основных активных частей однодисковой муфты или тормоза [2] (показано разомкнутое состояние фрикционного узла, при котором обмотка 6 управляющего электромагнита находится под напряжением). Фрикционный узел содержит дисковый якорь 1, закрепленный на упругой мембране 2, которая при помощи цапги 3 устанавливается на приводном валу 4. Магнитная система управляющего электромагнита состоит

из магнитопровода, имеющего наружный 7 и внутренний 8 полюса и фланец 9. Между полюсами размещена обмотка 6 и постоянный магнит 5. Фрикционная пара трения образована торцами полюсов 7, 8 и якорем 1.

При обесточенной обмотке 6 магнитный поток $\Phi_{ПМ}$ постоянного магнита 5 замыкается по цепи «внешний полюс 7, якорь 1, внутренний полюс 8, фланец 9» и, преодолевая усилие упругого диска 2, притягивает якорь 1 к полюсам. Таким образом, при использовании разработанной конструкции в составе муфты на ведомый вал 4 за счет сил трения будет передаваться вращающий момент с ведущего вала (на рис. 1 не показан), а при ее использовании в составе тормоза вал 4 затормозится.

При подаче напряжения на обмотку 6 она создает магнитный поток $\Phi_{ЭЛ}$, который направлен встречно потоку $\Phi_{ПМ}$ и вытесняет его из якоря 1. Под действием упругой мембраны 2 якорь отходит от полюсов 7, 8 (см. рис. 1), фрикционный момент исчезает, и вал 4 освобождается. При этом поток постоянного магнита замыкается по цепи «дисковая часть наружного полюса 7, воздушный зазор δ_d , внутренний полюс 8, фланец 9».

Очевидно, что быстродействие размыкания и замыкания фрикционного узла определяется скоростью изменения суммарного магнитного потока в рабочем зазоре δ_p между якорем и полюсами.

В ЭМУ величина магнитного потока $\Phi_{ЭЛ}$ электромагнита определяется током i его обмотки. Поэтому обычно определение расчета времени размыкания фрикционного узла ведется по кривой нарастания тока без учета динамики проникновения электромагнитной волны в полюс и, соответственно, без учета временного сдвига между током i и потоком $\Phi_{ЭЛ}$. Это не позволяет точно рассчитать зависимость изменения суммарного потока во времени $\Phi(t)$, что вносит существенную ошибку в расчет параметров быстродействия ЭМУ, т.к. нарастание потока $\Phi_{ЭЛ}$ происходит с запаздыванием во времени по отношению к току i .

Электромагнитные явления в сплошном сердечнике УЭ в предположении однородности материала магнитопровода и пренебрежении влиянием торцов и кривизны сердечника описываются дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\gamma \cdot \mu_{\sigma}} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial r^2}, \quad (1)$$

где H – напряженность магнитного поля; t – время; γ и μ_{σ} – удельная электрическая проводимость и дифференциальная магнитная проницаемость материала магнитопровода; r – пространственная координата.

Решим уравнение (1) методом прогонки [3]. Расчет этим методом сводится к определению напряженности при дискретных значениях координаты r , определяемых шагом Δr , который выбирается таким, чтобы в пределах Δr можно было считать H постоянной. При этом сердечник (внутренний полюс) разбиваем на n элементарных колец с шириной Δr и определяем функцию $H(r)$ для каждого момента времени.

При вычислении магнитного потока интегрирование функции $H(r)$ заменяем конечной суммой элементарных потоков:

$$\Phi(t) = \int_0^a B(r) dS = 2\pi \int_0^a H(r) \mu_{\delta} \cdot r dr = 2\pi \Delta r \sum_{i=1}^n H_i \mu_{\delta_i} \cdot R_i \quad (2)$$

где r_i и $dS = 2\pi \cdot \Delta r \cdot R_i$ – радиус и элементарная площадь i -го кольца, H_i – напряженность магнитного поля в i -м кольце, μ_{δ_i} – магнитная проницаемость, определяемая по безгистерезисной кривой намагничивания.

Авторами разработана методика, позволяющая производить уточненный расчет переходных процессов, протекающих в ЭМУ с учетом динамики проникновения электромагнитного поля в массивный магнитопровод УЭ и нелинейных свойств последнего [4]. Используя данную методику, можно определить закон изменения магнитного потока в ЭМУ МП. Для примера были рассмотрены две схемы управления: без форсировки (рис.1,а) и с форсировкой (рис.1,б) нарастания тока в обмотке УЭ.

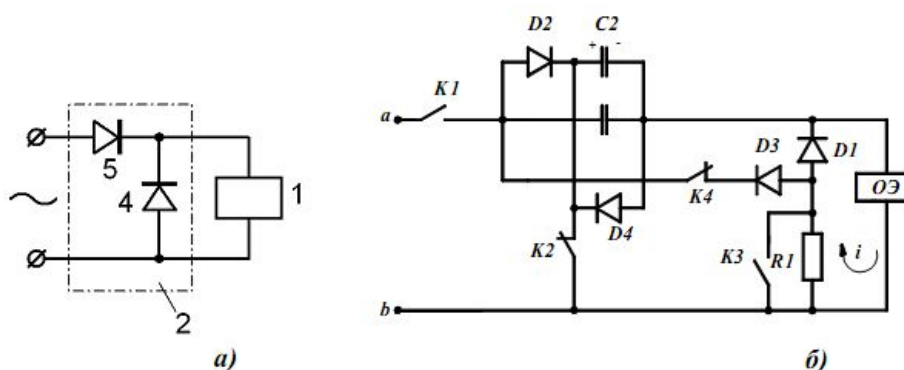


Рис.1. Схемы управления УЭ

Результаты расчета процесса нарастания тока в обмотке УЭ $i(t)$ и кривые изменения суммарного потока $\Phi(t)$ при использовании схемы рис.1,а показаны соответственно на рис. 2, а и рис. 3,а, а для схемы рис.1,б – на рис. 2,б и рис. 3,б. Расчеты проведены для тормозного ЭМУ типа ТПМ2 [1], имеющего при обесточенной обмотке фрикционный момент 40 Н·м.

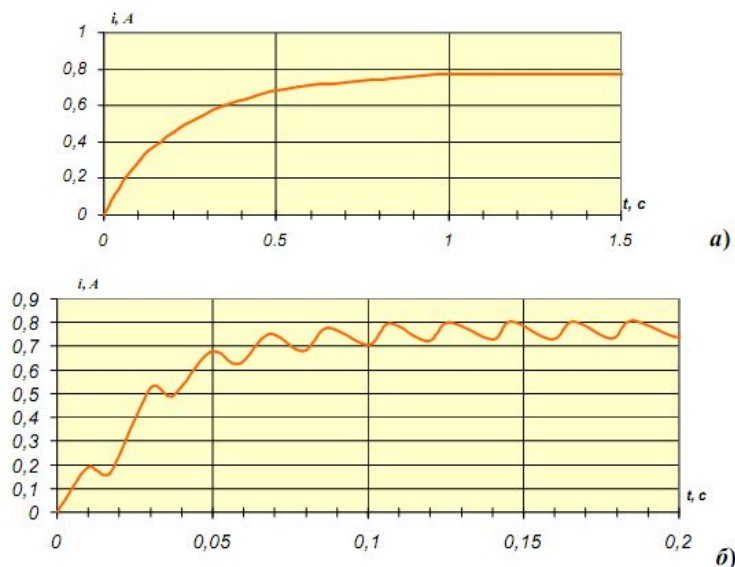


Рис.2. Кривые нарастания тока в обмотке электромагнита

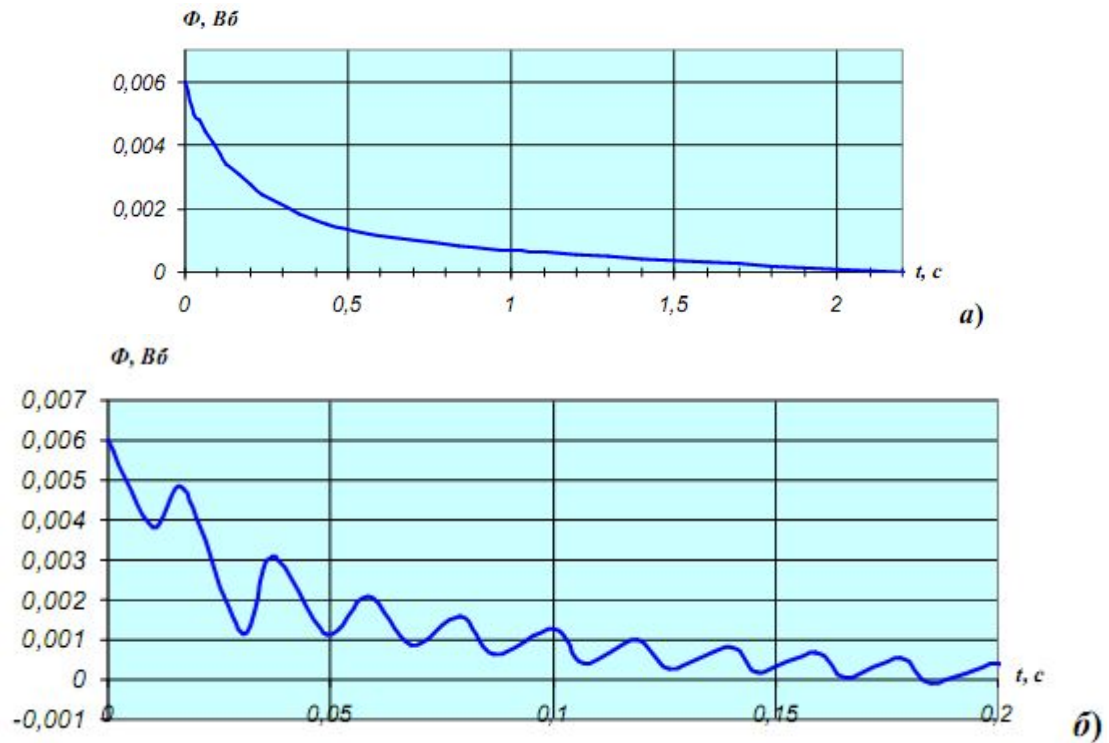


Рис.3. Кривые изменения магнитного потока $\Phi(t)$

Для определения времени размыкания t_p фрикционного узла ЭМУ, необходимо по оси ординат отложить значение магнитного потока, при котором сумма тяговых усилий, действующих на якорь 1 со стороны управляющего электромагнита $F_{эм}$ и со стороны постоянного магнита F_m , становится равной по величине усилию упругой мембраны $2 F_{np}$ (см. рис. 1). Таким образом, именно в момент времени t_p фрикционный момент между якорем и полюсами магнитопровода исчезает. Для исследуемого ЭМУ типа ТПМ2 $F_{np} = 225$ Н, соответственно получаем, что при использовании схемы с форсировкой $t_p \approx 0,03$ с, что соответствует экспериментальным данным. При $t > t_p$ выполнится условие $F_{np} > F_m - F_{эм}$, и якорь полностью отходит от полюсов под действием избыточного усилия мембраны F_{np} .

Исследуя полученные кривые, можно сделать вывод, что быстродействие ЭМУ с постоянными магнитами становится значительно выше при использовании схемы с форсировкой срабатывания.

Литература

1. Бочкарев И.В., Галбаев Ж.Т. Электромагнитные механизмы с постоянными магнитами и схемы их управления для систем автоматики. – Б.: Илим, 2008. – 274 с.
2. Бочкарев И.В., Галбаев Ж.Т. Разработка фрикционных муфт и тормозов с магнитоэлектрическим приводом / Электротехника, 2009, №7, С. 14-20.
3. Курбатов П.А., Аринчин С.А. Численный расчет электромагнитных полей. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Бочкарев И.В., Гунина М.Г. Методика расчета параметров быстродействия электромагнитных тормозных устройств для электродвигателей с учетом нелинейных свойств массивного магнитопровода: Свидетельство Кыргызпатента № 411, 2003