

УДК 621.318.38

**УЛУЧШЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА  
НА ОСНОВЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА**

Докт., инж. **СТОЯНОВА С. С.**, проф., докт. техн. наук, инж. **КОЗАРОВ А. С.**

*Технический колледж университета «Проф., докт. Асен Златаров»  
(Бургас, Республика Болгария)*

**Описание конструкции.** Подъемные сооружения ферромагнитных грузов могут быть конструированы с использованием электромагнитов и постоянных магнитов [1]. Второй вид находит все более широкое применение преимущественно из-за более низкого потребления электриче-

ской энергии. Недостаток этой конструкции – то, что в эксплуатационных условиях намагничивание и размагничивание осуществляются в магнитных цепях с разными магнитными сопротивлениями из-за различий в притягиваемых грузах.

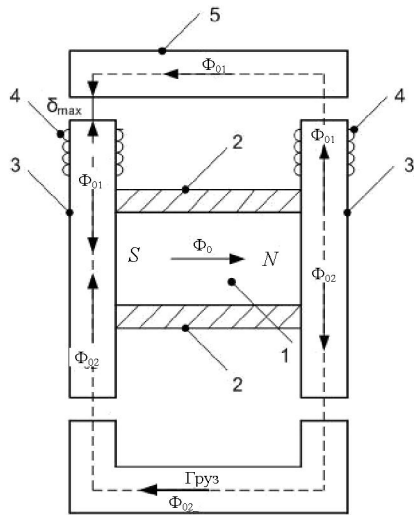


Рис. 1

Значения магнитного сопротивления при перемещении различных грузов меняются случайным образом. В случае неблагоприятного стечения обстоятельств при данном цикле притяжения намагниченность постоянного магнита может оказаться недостаточной и произойдет опускание груза. Существуют системы контроля намагничивания, но они не гарантируют полной надежности [2]. Упрощенный эскиз устройства показан на рис. 1.

Постоянный магнит 1 находится в медной гильзе 2, которая согласно принципу Ленца не позволяет влиять на его намагниченность при наличии коротковременных магнитных взаимодействий. Магнитопровод 3 исполнен из листового ферромагнитного материала. На его верхних частях расположены две секции управляющей катушки, которая притягивает подвижный ферромагнитный якорь 5, поддерживаемый пружиной на некотором расстоянии  $\delta_{\max}$  от верхнего полюса магнитопровода (пружина не показана). Нижние стержни магнитопровода представляют собой полюса, которые притягивают и удерживают груз. Конструктивные элементы, которые осуществляют механические связи, не показаны.

**Работа устройства.** Устройство работает следующим образом. Пусть полюса магнитопровода расположены точно над грузом, который должен быть привлечен. Из-за значительного расстояния постоянный магнит не может поднять груз. Через управляющую катушку пропускается мощный короткий импульс тока. Он создает управляющий поток  $\Phi_y$ . Его направление показано на рис. 2а. Поток проходит через якорь и является значительно большим, чем поток  $\Phi_{ок}$ , созданный постоянным магнитом через якорь. При этом оба потока противоположны по направлению.

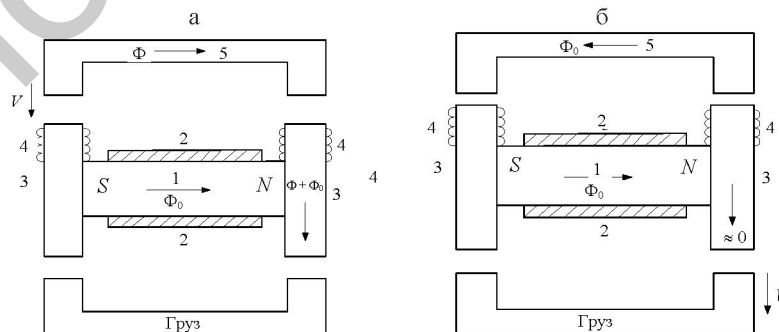


Рис. 2. Работа подъемного устройства

Под воздействием преобладающего потока  $\Phi_y$  якорь притягивается вниз, причем величина  $\Phi_y$  увеличивается. Импульсный характер явления индуктирования токов в медной гильзе не позволяет заметно изменить поток  $\Phi_0$  постоянного магнита. Затем на груз направляется почти целый

поток  $\Phi_y$ , который в нем суммируется с  $\Phi_{01}$  постоянного магнита. И тогда сила притяжения уже в состоянии поднять груз. После касания груза полюсов срабатывает датчик, который уменьшает ток через управляющую катушку. Величина этого тока определена таким образом, чтобы результирующий поток в подвижном верхнем якоре был близок к нулю. Под воздействием пружины якорь поднимается вверх и восстанавливается промежуток  $\delta_{\max}$ . Почти весь поток  $\Phi_0$  проходит через груз и обеспечивает достаточную силу притяжения. После перемещения груза к определенному месту через управляющую катушку пропускается ток в обратном направлении. Он создает поток  $\Phi_y$  (рис. 2б). Величина этого потока определяется так, чтобы направить весь поток  $\Phi_0$  постоянного магнита через подвижной верхний якорь. Через груз проходит очень маленький поток, и под воздействием своей тяжести он отпускается.

**Основные зависимости.** Зависимость между параметрами груза и управляющими импульсами определяется примерно для одного конкретного случая (рис. 2б).

Чтобы получить практически обозримые результаты, не принимаются во внимание:

- активные сопротивления, за исключением сопротивления  $R_3$ , а также потери из-за активной мощности в стали;
- потоки рассеивания и расширение силовых линий через зазоры.

**Притяжение груза.** Пусть полюса магнита расположены точно над грузом, а верхний якорь находится в притянутом (нижнее) положении. Магнитный поток  $\Phi_0$ , созданный постоянным магнитом, определяется характеристиками его материала и магнитным сопротивлением при непривлеченном якоре 1 в отсутствии груза. В момент  $t = 0$  в катушку подается постоянное напряжение  $U_y$ .

При принятых допущениях процесс описывается следующими зависимостями (из-за значительного воздушного зазора между постоянным магнитом и грузом можно принять  $\Phi_{от} = 0$  для начального момента):

$$U_y = w \frac{d\Phi_y}{dt}; \quad \Phi_0 = \text{const}; \quad \Phi_{т} = \Phi_y,$$

где  $U_y$  – приложенное постоянное управляющее напряжение;  $\Phi_y$  – управляющий магнитный поток;

$$W\Phi_y = U_y t.$$

При принятом допущении  $\Phi_{т} = 0$  с момента  $t = 0$  на груз действует увеличивающаяся подъемная сила  $F_1 = \frac{\Phi_t^2}{S\mu_0} = \frac{U_y^2 t^2}{W^2 \mu_0 S}$ , где  $W$  – число витков

управляющей катушки;  $S$  – поперечное сечение потока  $\Phi_t$  (магнитное поле в воздушном зазоре принимается гомогенным).

В момент  $t = \Delta t$  увеличивающаяся подъемная сила становится равной весу  $G$  груза и начинается его движение вверх. Величина  $\Delta t$  определяется условием

$$\frac{U_y^2 \Delta t^2}{W^2 \mu_0 S} = G.$$

С этого момента движение груза определяется следующим образом:

$$\frac{G}{g} \frac{d^2 x}{dt^2} = - \left( \frac{U_y^2 t^2}{W^2 \mu_0 S} - G \right),$$

где  $g$  – ускорение Земли. В правой стороне уравнения знак «минус» обозначает, что подъемная сила действует в направлении уменьшения координаты  $x$ .

Начальные условия:  $x(\Delta t) = x_{\max}$ ,  $\left( \frac{dx}{dt} \right)_{t=\Delta t} = 0$ . На самом деле подъем-

ная сила чуть больше, так как при поднятии груза вверх через него отклоняется большая часть потока  $\Phi_0$ .

После элементарных, но достаточно больших преобразований получается следующее приблизительное выражение для вычисления времени притяжения груза:

$$\Delta T \approx \Delta t + \left( \frac{12W^2 \mu_0 S M x_M}{U_y^2} \right)^{\frac{1}{4}},$$

где  $M$  – масса груза.

После касания груза полюсов магнита ток через управляющую катушку резко уменьшается из-за срабатывания подходящего устройства.

Время  $\Delta T$  необходимо для того, чтобы определить максимальное сопротивление  $R_{\text{кз}}$ , которое должна иметь коротко замкнутая обмотка, окружающая постоянный магнит, чтобы не допустить размагничивающего уменьшения потока, созданного противоположным действием управляющего тока  $i_y$ . Допустим, что уменьшение потока  $\Phi_0$  не должно превосходить  $0,1\Phi_0$ . Тогда с известным коэффициентом запаса можно принять

$$\frac{0,1\Phi_0}{R_{\text{кз}} \Delta T} = \frac{U_y x_{\max}}{S \mu_0 W} \Delta T.$$

Откуда

$$R_{\text{кз}} \approx \frac{10\Phi_0 S \mu_0 W}{U_y x_{\max} \Delta T^2}.$$

В случае, когда сечение короткозамкнутой обмотки получится слишком большим, можно использовать схему (рис. 3), при которой с помощью

активных элементов осуществляется принудительное нейтрализование размагничиваемого действия к постоянному магниту.

Здесь обмотка  $W_{\text{изм}}$  и обмотка  $W_{\text{комп}}$  замещают короткозамкнутую обмотку в приведенном выше случае. Вследствие участия усилителя эффект Ленца выражен намного сильнее.

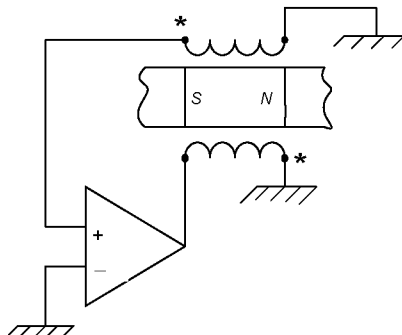


Рис. 3

Усилитель работает в легком режиме, потому что исходящий ток должен преодолеть только активное сопротивление компенсирующей обмотки, а не индуктивное, так как охваченный ею поток остается почти постоянным.

#### ВЫВОД

Все полученные зависимости приближительны (рассчитаны при допущении значительных упрощающих предположений, так как магнитное сопротивление между полюсами, обусловленное характеристиками груза, является неизвестной случайной величиной, которая изменяется в широких границах). Вследствие этого предлагаемые формулы могут быть полезны только для ориентировочного определения основных параметров путем создания возможностей для их регулирования при настраивании для каждого конкретного случая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цанев, Ц. Возможности использования магнитных и электромагнитных приспособлений в энергетике / Ц. Цанев // Энергетика – 1999. – № 8. – С. 18–21.
2. Магнитно захватывающее приспособление с регулированием задерживающей силой: пат. на изобретение № 48966 от 10.11.1994.

Поступила 20.10.2009