

собрать ряд наглядных приборов и установок для различных опытов.

Меньшее распространение в практике электротехнического кружка получили действующие модели, часто приводимые в движение от руки, и универсальные приборы (их нельзя путать с конструкторами), при помощи которых демонстрируют серию различных опытов, иногда из различных разделов электротехники (рис. 2).

Рассматривая электротехнические приборы и модели, можно встретить в них ряд узлов и деталей, характерных для многих физических приборов. К таким деталям относятся, например, подставки, поддерживающие приспособления, различные механические и монтажные детали. Руководитель кружка, имея эскиз или описание предполагаемого прибора и хорошо представив физические основы его действия, в большинстве случаев без особых трудностей находит конструктивное решение таких «общих» узлов. Однако чтобы получить хотя бы ориентировочные сведения о наиболее выгодном конструктивном решении специальных электротехнических узлов, руководителю приходится обращаться к элементарным расчетам, а часто и к эксперименту.

Приведем такой характерный пример.

Группа юных электротехников после посещения одного из заводов решила построить в кружке действующую модель подъемного электромагнитного крана (рис. 3). Конструирование такой модели обязательно потребует от руководителя определенных конструкторских знаний и умений и ряда чисто электротехнических расчетов. В частности, надо рассчитать грузоподъемность электромагнита, мощность двигателя для перемещения крана, наконец рассчитать трансформатор, питающий ток всю модель. Модель подъемного крана будет надежно действовать только в том случае, если все расчеты руководитель сделает с надлежащим вниманием и анализом.

В этой главе даются некоторые советы по конструированию и элементарному расчету наиболее распространенных электрических приборов и узлов: электромагнитов, пусковых реле, двигателей и трансформаторов.

ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Электромагнит применяется во многих электротехнических приборах. Он представляет собой катушку из проволоки, намотан-

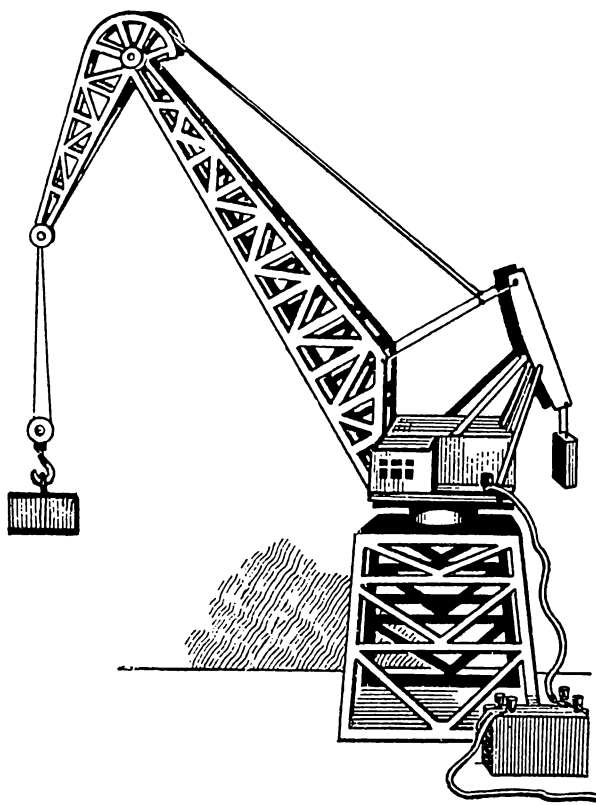


Рис. 3. Модель подъемного крана с электромагнитом.

ной на железный сердечник, форма которого может быть различной. Железный сердечник является одной частью магнитопровода, а другой частью, с помощью которой замыкается путь магнитных силовых линий, служит якорь. Магнитная цепь характеризуется величиной магнитной индукции — B , которая зависит от напряженности поля и магнитной проницаемости материала. Именно поэтому сердечники электромагнитов делают из железа, обладающего высокой магнитной проницаемостью. В свою очередь, от магнитной индукции зависит силовой поток, обозначаемый в формулах буквой Φ .

$\Phi = B \times S$ = магнитная индукция \times площадь поперечного сечения магнитопровода.

Силовой поток зависит также от так называемой магнитодвижущей силы (E_m), которая определяется числом ампервитков на 1 см длины пути силовых линий и может быть выражена формулой:

$$\Phi = \frac{\text{магнитодвижущая сила } (E_m)}{\text{магнитное сопротивление } (R_m)}$$

Здесь $E_m \approx 1,3 IN$, где N — число витков катушки, а I — сила текущего по катушке тока в амперах. Другая составляющая: $R_m = \frac{l}{MS}$, где l — средняя длина пути силовых магнитных линий, M — магнитная проницаемость, а S — поперечное сечение магнитопровода.

При конструировании электромагнитов весьма желательно получить большой силовой поток. Добиться этого можно, если уменьшить магнитное сопротивление. Для этого надо выбрать магнитопровод с наименьшей длиной пути силовых линий и с наибольшим поперечным сечением, а в качестве материала — железоматериал с большой магнитной проницаемостью.

Другой путь увеличения силового потока путем увеличения ампервитков не является приемлемым, так как в целях экономии проволоки и питания следует стремиться к уменьшению ампервитков.

Обычно расчеты электромагнитов делают по специальным графикам. В целях упрощения в расчетах мы будем также пользоваться некоторыми выводами из графиков.

Предположим, требуется определить ампервитки и силовой поток замкнутого железного магнитопровода, изображенного на рисунке 4,а и сделанного из железа самого низкого качества.

Рассматривая график намагничивания железа, нетрудно убедиться, что наиболее выгодной является магнитная индукция в пределах от 10 000 до 14 000 силовых линий на 1 см^2 , что соответствует от 2 до 7 ампервитков на 1 см . Для намотки катушек с наименьшим числом витков и более экономичных в смысле питания для расчетов надо принимать именно эту величину (10 000 силовых линий на 1 см^2 при 2 ампервитках на 1 см длины). В этом случае расчет может быть произведен следующим образом.

Так, при длине магнитопровода $l = l_1 + l_2$, равной $20 \text{ см} + 10 \text{ см} = 30 \text{ см}$, потребуется $2 \times 30 = 60$ ампервитков. Если диаметр сердечника примем равным 2 см , то его площадь будет равна:

$$S = \frac{3,14 D^2}{4} = \frac{3,14 \times 2 \times 2}{4} = 3,14 \text{ см}^2.$$

Отсюда возбуждаемый магнитный поток будет равен: $\Phi = B \times S = 10\,000 \times 3,14 = 31\,400$ силовых линий. Можно приближенно вычислить и подъемную силу электромагнита (P).

$$P = \frac{B^2 \times S}{25 \times 1\,000\,000} = \frac{10\,000 \times 10\,000 \times 3,14}{25 \times 1\,000\,000} = 12,4 \text{ кг}.$$

Для двухполюсного магнита этот результат следует удвоить. Следовательно, $P = 24,8 \text{ кг} \approx 25 \text{ кг}$. При определении подъемной силы необходимо помнить, что она зависит не только от длины магнитопровода, но и от площади соприкосновения якоря и сердечника. Поэтому якорь должен точно прилегать к полюсным наконечникам, иначе даже малейшие воздушные прослойки вызовут сильное уменьшение подъемной силы.

Далее производится расчет катушки электромагнита. В нашем примере подъемная сила в 25 кг обеспечивается 60 ампервитками. Рассмотрим, какими средствами можно получить произведение $N \cdot I = 60$ ампервиткам.

Очевидно, этого можно добиться либо путем использования большого тока при малом количестве витков катушки, например 2 а и 30 витков, либо путем увеличения числа витков катушки при уменьшении тока, например $0,25 \text{ а}$ и 240 витков. Таким образом, чтобы электромагнит имел подъемную силу в 25 кг , на его сердечник можно намотать и 30 витков и 240 витков, но при этом изменить величину питающего тока. Конечно, можно выбрать и другое соотношение.

Однако изменение величины тока в больших пределах не всегда возможно, так как оно обязательно потребует изменения диаметра применяемой проволоки. Так, при кратковременной работе (несколько минут) для проводов диаметром до 1 мм допустимую плотность тока, при которой не происходит сильного перегрева провода, можно принять равной 5 а/мм^2 . В нашем примере проволока должна быть следующего сечения: для тока в 2 а — $0,4 \text{ мм}^2$, а для тока в $0,25 \text{ а}$ — $0,05 \text{ мм}^2$.

Воспользовавшись таблицей (см. приложение), найдем, что диаметр проволоки будет $0,7 \text{ мм}$ или $0,2 \text{ мм}$.

Каким же из этих проводов следует производить обмотку?

С одной стороны, выбор диаметра провода может определяться имеющимся у руководителя ассортиментом проволоки, с другой — возможностями источников питания как по току, так и по напряжению. Действительно, две катушки, одна из которых изготовлена из толстой проволоки в $0,7 \text{ мм}$ и с небольшим числом витков — 30, а другая — из

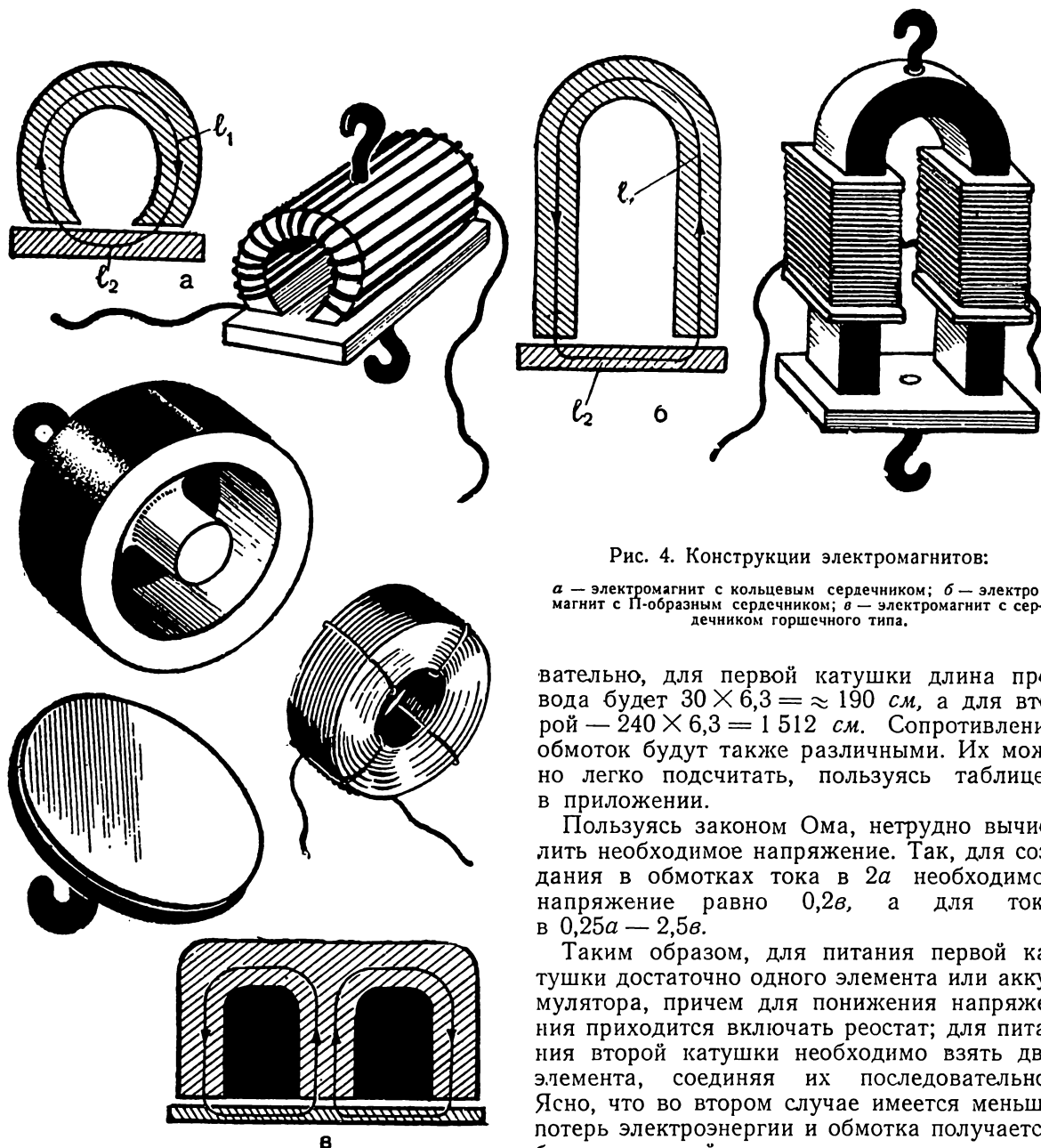


Рис. 4. Конструкции электромагнитов:

а — электромагнит с кольцевым сердечником; *б* — электромагнит с П-образным сердечником; *в* — электромагнит с сердечником горшечного типа.

вательно, для первой катушки длина провода будет $30 \times 6,3 = \approx 190$ см, а для второй — $240 \times 6,3 = 1512$ см. Сопротивления обмоток будут также различными. Их можно легко подсчитать, пользуясь таблицей в приложении.

Пользуясь законом Ома, нетрудно вычислить необходимое напряжение. Так, для создания в обмотках тока в $2a$ необходимое напряжение равно $0,2v$, а для тока в $0,25a$ — $2,5v$.

Таким образом, для питания первой катушки достаточно одного элемента или аккумулятора, причем для понижения напряжения приходится включать реостат; для питания второй катушки необходимо взять два элемента, соединяя их последовательно. Ясно, что во втором случае имеется меньше потеря электроэнергии и обмотка получается более выгодной.

Анализ полученных результатов позволяет сделать еще такой вывод: диаметр проволоки подбирается так, чтобы питание катушки можно было производить только от одного элемента (или аккумулятора) без каких-либо реостатов, где энергия тратится произвольно. Нетрудно заметить, что при диаметре проволоки приблизительно $0,4$ мм и силе тока около $0,4$ а нужное напряжение для питания катушки составит $1,3 \div 1,4$ в, то-есть как раз напряжение одного элемен-

проволоки в $0,2$ мм и числом витков 240, будут иметь резко различное сопротивление.

Зная диаметр проволоки и ее длину по таблице, можно легко определить сопротивление. Длина проволоки (l) равна произведению общего числа витков на длину одного из них (среднюю): $l = N \times l_1$, где l_1 — длина одного витка, равная $3,14 \times D$. В нашем примере $D = 2$ см, и $l_1 \approx 6,3$ см. Следо-

та. Таков элементарный расчет электромагнитов.

Конструируя электромагниты, надо не только производить указанный расчет, но и уметь выбрать материал для сердечника, его форму, продумать технологию изготовления. Удовлетворительными материалами для изготовления сердечников в кружках являются прутковое железо (круглое и полосовое) и различные железные изделия: болты, проволока, гвозди, шурупы и т. д.

Чтобы избежать больших потерь на токах Фуко, сердечники для приборов переменного тока необходимо собирать из изолированных друг от друга тонких листов железа или проволоки. Для придания железу «мягкости» его необходимо подвергать отжигу.

Большое значение имеет и правильный выбор формы сердечника. Наиболее рациональные из них кольцевые и П-образные. Некоторые из распространенных сердечников показаны на рисунке 4.

ПУСКОВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Большое распространение в современной автоматике и телемеханике получили различные электромагнитные реле (рис. 5). Электромагнитное реле имеет очень простое устройство. Это обычный электромагнит, к которому якорь прикреплен с помощью шарнира. Когда по обмотке проходит ток, якорь притягивается к сердечнику и замыкает специальные контактные пластинки. Концы контактных пластинок обычно соединяются проводниками с различными электрическими цепями, производя включение или выключение отдельных приборов в этих цепях.

При выключении тока из обмотки сердеч-

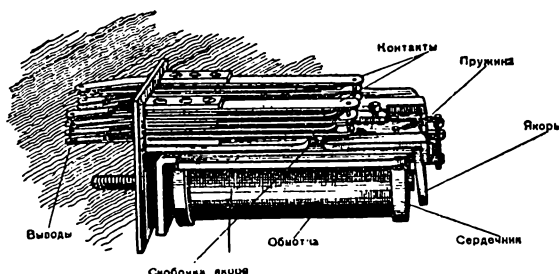


Рис. 5. Электромагнитное реле телефонного типа.

ник размагничивается, маленькая пружинка возвращает якорь в первоначальное положение и переключает контактные пластинки.

Во многих технических кружках приходится изготавливать самодельные электромагнитные реле.

Электромагнитное реле можно представить как магнитопровод с воздушным зазором. Однако наличие даже небольшого зазора (до 2 мм) приводит к сильному уменьшению величины магнитного потока. Увеличить напряженность магнитного поля можно ампервитками.

Из соотношения $\frac{N \cdot J}{\text{см}} = 0,8 H$ нетрудно

найти, что для поддержания в воздушном зазоре между якорем и сердечником напряженности магнитного поля в 10 000 эрстедов, теперь уже потребуется 8 000 ампервитков на 1 см, а при выбранном зазоре в 2 мм — $8\,000 \times 0,2 = 1\,600$ ампервитков.

Таким образом, обмотка электромагнитных реле должна содержать значительно большее число витков или пропускать более значительный ток, чтобы в железном магнитопроводе сохранить большую магнитную индукцию. С этой же целью надо стараться по возможности уменьшать величину воздушных зазоров.

Всякое реле характеризуется чувствительностью, временем срабатывания и отпущения, габаритами и количеством независимо друг от друга включаемых цепей.

Чувствительность реле — его основная характеристика — определяется величиной электрической мощности, которую необходимо подвести к реле, чтобы заставить его сработать. Следовательно, она зависит от ампервитков.

Реле, срабатывающее при одних и тех же условиях, но при меньшей величине ампервитков, будет более чувствительным, чем реле, срабатывающее при большой величине ампервитков.

Однако чувствительность реле зависит и от конструкции всего реле — ярма, сердечника, якоря — и от механического противодействия со стороны якоря и пружин при срабатывании.

Для изготовления качественных реле необходимо прежде всего правильно выбрать форму и материал для магнитопровода, как это делалось и при конструировании электромагнитов. Хорошие результаты можно полу-