

исходя из закона сохранения энергии. Попробуйте это сделать самостоятельно.

Задача 6. В простейшей схеме магнитного гидродинамического генератора плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием d между ними помещен в поток проводящей жидкости с удельным сопротивлением ρ , движущейся с постоянной скоростью v параллельно пластинам. Конденсатор находится в однородном магнитном поле с индукцией, равной B и направленной перпендикулярно плоскости рисунка 6. Найдите полезную тепловую мощность, которая выде-

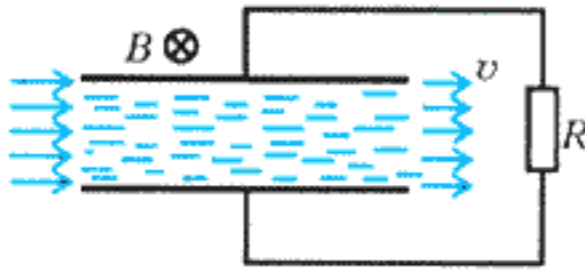


Рис. 6

ляется на внешней нагрузке в виде резистора сопротивлением R . Пренебрегая возможными потерями при протекании жидкости, определите также КПД такого генератора.

Рассмотрим вкратце процесс установления стационарного состояния — когда через резистор течет постоянный ток.

Как только проводящая жидкость начинает протекать между обкладками конденсатора, на свободные заряды жидкости со стороны внешнего магнитного поля начинает действовать сила Лоренца. Положительные заряды начинают смещаться к верхней пластине конденсатора, а отрицательные — к нижней. Между пластинами конденсатора возникает разность потенциалов, которая приводит к появлению тока через резистор R . Одновременно, возникшее электрическое поле начинает препятствовать движению свободных зарядов жидкости к пластинам. В результате через некоторое время устанавливается стационарное состояние: заряд, поступающий из жидкости на каждую пластину в единицу времени, равен силе тока, протекающего через резистор. Другими словами, в цепи резистора начинает течь постоянный ток. Обозначим его через I .

Теперь выясним, чему равна электродвижущая сила, которая поддерживает ток в цепи. По определению, ЭДС равна напряжению на пластинах конденсатора при разомкнутой внешней цепи. Условие отсутствия тока внутри конденсатора имеет вид $E = vB$, где E — напряженность электрического поля. Разность потенциалов между пластинами составляет $\mathcal{E} = Ed = vBd$. Это и

Рис. 7

есть величина электродвижущей силы, действующей в замкнутой цепи. Можно нарисовать эквивалентную электрическую схему — см. рисунок 7, где r — внутреннее сопротивление источника: $r = \rho d/S$.

Очевидно, что сила тока в такой цепи равна

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{vBd}{R+\rho d/S},$$

а мощность, выделяемая на резисторе, составляет

$$P_R = I^2 R = \frac{(vBd)^2 R}{(R+\rho d/S)^2} = \frac{(vBd)^2}{R(1+\rho d/(SR))^2}.$$

Для расчета КПД генератора необходимо найти мощность внешних сил, приводящих в действие генератор. Понятно, что работа внешних сил затрачивается на перемещение жидкости между пластинами конденсатора. Поскольку через жидкость течет ток I , на носители тока, а следовательно и на жидкость между пластинами, действует сила Ампера $F_A = BId$, которая направлена против движения жидкости. Для равномерного протекания жидкости на нее должна действовать внешняя сила, равная силе Ампера и направленная вдоль скорости течения. Мощность, развиваемая этой силой, равна

$$P = F_A v = BIdv = \frac{(vBd)^2}{R(1+\rho d/(SR))},$$

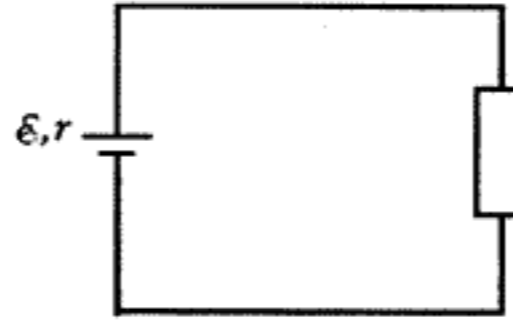
а КПД генератора —

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{1}{1+\rho d/(SR)}.$$

Как видно, КПД генератора определяется отношением омических сопротивлений жидкости и резистора. При стремлении этого отношения к нулю КПД стремится к единице.

Упражнения

1. Три одинаковых одноименно заряженных шарика, каждый с зарядом q и массой m , связаны двумя нерастяжимыми нитями длиной l каждая. Все три шарика неподвижны и расположены на гладкой горизон-



тальной поверхности. Какую минимальную скорость необходимо сообщить центральному шару вдоль оси, перпендикулярной нитям, чтобы при дальнейшем движении шары смогли образовать равносторонний треугольник? Радиус шариков мал по сравнению с длиной нити.

2. Электрический диполь из двух жестко связанных точечных зарядов $+q$ и $-q$, расположенных на расстоянии l друг от друга, пролетает через плоский конденсатор, пластины которого подключены к источнику с постоянной ЭДС \mathcal{E} (рис.8). Определите

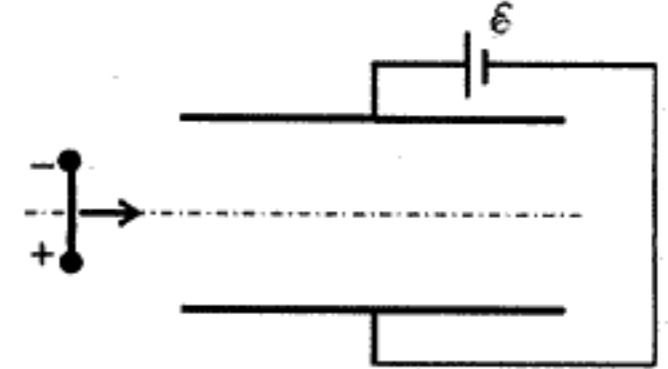


Рис. 8

скорость диполя в центре конденсатора, если известно, что его скорость вдали от конденсатора равна v_0 . Расстояние между пластинами конденсатора d , масса диполя m .

3. На гладкой горизонтальной поверхности расположено тонкое проволочное кольцо радиусом r . Сопротивление кольца R . Кольцо находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией, равной B_0 и направленной перпендикулярно плоскости кольца. Индукция магнитного поля стала уменьшаться со временем по закону $B(t) = B_0 - At$, где A — константа. Чему равна максимальная сила натяжения проволоки кольца, обусловленная взаимодействием тока в кольце с внешним магнитным полем? Самоиндукцией кольца пренебречь.

4. По вертикальным проводящим рельсам, расстояние между которыми l , в поле тяжести может скользить без трения проводящая перемычка массой m . Рельсы замкнуты катушкой индуктивностью L и находятся в однородном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рисунка 4. В начальный момент времени контакт удерживается внешней силой, а затем внешняя сила убирается и контакт начинает движение вниз с нулевой начальной скоростью. Определите величину индукции внешнего магнитного поля, если известно, что максимальная скорость, которую приобретает контакт, равна v_0 . Омическими потерями пренебречь.