**№ 2**

**«*ЭЛЕКТРОСТАТИКА, ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»***

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

|  |  |
| --- | --- |
| **Закон Кулона**где  *q*1 и *q*2 - величины точечных зарядов; ε0 – электрическая постоянная;ε – диэлектрическая проницаемость среды; *r* – расстояние между зарядами. | *F* , |
| **Напряженность электрического поля** | *Е* = , |
| **Напряженность поля:** *точечного заряда* *бесконечно длинной заряженной нити* *равномерно заряженной бесконечной плоскости**между двумя разноименно заряженными бесконечными плоскостями*где τ – линейная плотность заряда;σ – поверхностная плотность заряда;*r* – расстояние до источника поля. | ,,;, |
| **Электрическое смещение** | *D* = ε0εЕ. |
| **Работа перемещения заряда в электростатическом поле**где φ1 и φ2 - потенциалы начальной и конечной точек. | *A* = = *q*(φ1 – φ2), |
| **Потенциал поля точечного заряда** | φ = . |
| **Связь между потенциалом и напряженностью** | . |
| **Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора**где *S* – площадь пластин. | ,  |
| **Электроемкость:** *уединенного проводника* *плоского конденсатора* *слоистого конденсатора*где *d* – расстояние между пластинами конденсатора; *di* – толщина *i*-го слоя диэлектрика; ε*i* - его диэлектрическая проницаемость.  | ;;, |
| **Электроемкость батареи конденсаторов, соединенных:** *параллельно* *последовательно* | ;. |
| **Энергия поля:** *заряженного проводника* *заряженного конденсатора*где *V –* объем конденсатора. | ;, |
| **Объемная плотность энергии электрического поля** |  |
| **Сила тока** | . |
| **Закон Ома:** *в дифференциальной форме* *в интегральной форме*где γ – удельная проводимость; ρ – удельное сопротивление; *U* – напряжение на концах цепи; *R* – сопротивление цепи;  *j* – плотность тока. | ;, |
| **Закон Джоуля – Ленца:** *в дифференциальной форме**в интегральной форме* | ;. |
| **Сопротивление однородного проводника**где *l* – длина проводника; *S* – площадь его поперечного сечения. | , |
| **Первый закон Кирхгофа**где *I1, I2, I3, …, In* – токи, входящие и выходящие в узел цепи | *I1 + I2 + I3 + ... + In = 0.* |
| **Второй закон Кирхгофа**где *IiRi -* алгебраическая сумма произведений сил токов *Ii*, на сопротивления *Ri* соответствующих участков контура, *ξn* - алгебраической сумме э.д.с. , встречающихся в этом контуре | *I1R1 + I2R2  + I3R3 + … +InRn= = ξ 1 + ξ 2 + ξ 3 +… + ξn* |

На рисунках 2.0-2.10 (таблицы 2) изображены электрические схемы с источниками тока и резисторами. Выполнить следующие задания:

1. Вычислить эквивалентные сопротивления между точками *а* и *b* схемы, Rab.
2. Начертить эквивалентную схему замещения с элементом Rab.
3. Ииспользуя законы Кирхгофа, найти токи во всех резисторах и всех источниках ЭДС.
4. Найти напряжения на зажимах любого источника (по Вашему выбору).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №вар | По последней цифре шифра | По предпоследней цифре шифра |
| Е1, В | Е2, В | Е3, В | r1, Ом | r2, Ом | r3, Ом | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом |
| 4 | 10 | 2 | 7 | - | 2 | 2 | 1400 | 2900 | 5100 | 1700 | 6800 |

**** 

 

** **

** **

** **

****

**ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ**

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ № 2**

**«ЭЛЕКТРОСТАТИКА, ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»**

На рисунке 2.0 изображена электрическая схема с источниками тока и резисторами, данные по которым приведены в таблице 2. Выполнить следующие задания:

1. Вычислить эквивалентные сопротивления между точками а и b схемы, Rab.

2. Начертить эквивалентную схему замещения с элементом Rab.

3. Используя законы Кирхгофа, найти токи во всех резисторах и всех источниках ЭДС.

4. Найти напряжения на зажимах третьего (например) источника (по Вашему выбору).

**РЕШЕНИЕ**

**1. Вычислим эквивалентное сопротивление Rab между точками a и b схемы.**

Сопротивления R1 и R2 соединены последовательно:

$$R\_{12}=R\_{1}+R\_{2}; $$

R12 = 120 Ом + 210 Ом = 330 Ом;

Сопротивления R12 и R3 соединены последовательно, следовательно:

$$\frac{1}{R\_{ab}}=\frac{1}{R\_{12}}+\frac{1}{R\_{3}};$$

$$R\_{ab}=\frac{R\_{12}·R\_{3}}{R\_{12}+R\_{3}};$$

$$R\_{ab}=\frac{330 Ом·320 Ом}{33 Ом+320 Ом}=162,5 Ом;$$

**2.** **Начертим эквивалентную схему замещения с элементом Rab.**



Рис. 2.11.

**3.** **Используя законы Кирхгофа, найдем токи во всех резисторах и во всех источниках ЭДС.**

Так как в цепи всего два узла (А и В), то по первому закону Кирхгофа можно составить только одно уравнение. Составим его для узла А, выбрав направление токов так, как показано на рис. 2.11:

I2 + I3 – I1 = 0 (2.1)

Рассмотрим два независимых контура ACDB и EABF и запишем уравнения по второму закону Кирхгофа для этих контуров в соответствии с направлением обхода, выбранном на рис. 2.11.:

I2 · R4 + I2 ·r2 + I1 · Rab = E2 – E1 (для контура ACDB); (2.2)

I3 · R5 + I3 · r3 – I2 · R4 – I2 ·r2 = E3 – E2 (для контура EABF) (2.3)

Решая систему уравнений (2.1), (2.2.), (2.3), получаем

$\left\{\begin{array}{c}I\_{2}+I\_{3}-I\_{1}=0,\\I\_{2}·R\_{4}+I\_{2}·r\_{2}+I\_{1}·R\_{ab}=E\_{2}-E\_{1},\\I\_{3}·R\_{5}+I\_{3}·r\_{3}-I\_{2}·R\_{4}-I\_{2}·r\_{2}=E\_{3}-E\_{2}.\end{array}\right.$ (2.4.)

Найдем соответствующие значения токов в сопротивлениях и ЭДС:

$$I\_{1}=\frac{E\_{2}-E\_{1}-I\_{2}·R\_{4}-I\_{2}·r\_{2}}{R\_{ab}},$$

$$I\_{3}=\frac{E\_{3}-E\_{2}+I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)}{R\_{5}+r\_{3}},$$

Подставим полученные выражения в уравнение (2.1.)

$$-\frac{E\_{2}-E\_{1}-I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)}{R\_{ab}}+\frac{E\_{3}-E\_{2}+I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)}{R\_{5}+r\_{3}}+I\_{2}=0$$

Приводим дроби к общему знаменателю

$$\frac{-\left(E\_{2}-E\_{1}-I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·\left(R\_{5}+r\_{3}\right)+\left(E\_{3}-E\_{2}+I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·R\_{ab}}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}= =\frac{-I\_{2}·R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}$$

$$-\left(E\_{2}-E\_{1}-I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·\left(R\_{5}+r\_{3}\right)+\left(E\_{3}-E\_{2}+I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·R\_{ab}==-I\_{2}·R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)$$

Раскрываем скобки и приводим общие множители

$$I\_{2}=\frac{-\left(E\_{2}-E\_{1}-I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·\left(R\_{5}+r\_{3}\right)+\left(E\_{3}-E\_{2}+I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)\right)·R\_{ab}}{-R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}$$

$$I\_{2}=\frac{E\_{2}R\_{5}-E\_{1}R\_{5}-I\_{2}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)R\_{5}+E\_{2}r\_{3}-E\_{1}r\_{3}-I\_{2}r\_{3}·\left(R\_{4}+r\_{2}\right)}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}+\frac{E\_{3}R\_{ab}-E\_{2}R\_{ab}+I\_{2}·R\_{ab}\left(R\_{4}+r\_{2}\right)}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}$$

$$I\_{2}=\frac{E\_{2}R\_{5}-E\_{1}R\_{5}-I\_{2}R\_{4}R\_{5}-I\_{2}r\_{2}R\_{5}+E\_{2}r\_{3}-E\_{1}r\_{3}-I\_{2}r\_{3}R\_{4}-I\_{2}r\_{3}r\_{2}}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}+\frac{E\_{3}R\_{ab}-E\_{2}R\_{ab}+I\_{2}·R\_{ab}R\_{4}+I\_{2}·R\_{ab}r\_{2}}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}$$

$$I\_{2}=\frac{E\_{2}R\_{5}-E\_{1}R\_{5}-I\_{2}R\_{4}R\_{5}-I\_{2}r\_{2}R\_{5}+E\_{2}r\_{3}-E\_{1}r\_{3}-I\_{2}r\_{3}R\_{4}-I\_{2}r\_{3}r\_{2}}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}+\frac{E\_{3}R\_{ab}-E\_{2}R\_{ab}+I\_{2}·R\_{ab}R\_{4}+I\_{2}·R\_{ab}r\_{2}}{R\_{ab}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)}$$

$$I\_{2}=\frac{\left(E\_{2}-E\_{1}\right)\left(R\_{5}+r\_{3}\right)-\left(E\_{3}-E\_{2}\right)R\_{ab}}{\left(R\_{5}+r\_{3}\right)\left(R\_{ab}+R\_{4}+r\_{2}\right)+\left(R\_{4}+r\_{2}\right)R\_{ab}}$$

Подставим в полученное выражение известные числа

$$I\_{2}=\frac{\left(4 В-2 В\right)\left(100 Ом+2 Ом\right)-\left(6 В-4 В\right)162,5 Ом}{\left(100 Ом+2 Ом\right)\left(162,5 Ом+640 Ом+1 Ом\right)+\left(640 Ом+1 Ом\right)162,5 Ом}=-0,65 мА.$$

Знак «–» означает, что ток I2 направлен в сторону, противоположную указанной на рисунке 2.11.

Теперь находим числовые значения токов I1 и I3

$$I\_{1}=\frac{4 В-2 В+0,65· 10^{-3}А·640 Ом+0,65·10^{-3}А·1 Ом}{162,5 Ом}=14,95 мА,$$

$$I\_{3}=\frac{6В-4В+0,65В·\left(640 Ом+1 Ом\right)}{100 Ом+2 Ом}=15,60 мА.$$

Проведем проверку, подставив значения полученных токов в закон Кирхгофа для узла А:

$$-0,65 мА+15,60 мА-14,95 мА=0$$

0 = 0.

**4. Найдем значения напряжения U3 на зажимах источника E3, используя закон Ома для полной цепи:**

$$I\_{3}=\frac{E\_{3}}{R\_{5}+r\_{3}},$$

откуда

$$I\_{3}\left(R\_{5}+r\_{3}\right)=E\_{3},$$

U3 = E3 – I3 · r3,

U3 = 6В – 15,60 $10^{-3}А$ · 2 Ом = 5,996 В.

**209.** Частица совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями: *x* =3,0 10-2 sin ω *t* и *y* =4,0 10-2 sin (ω *t* + 45о). Найти уравнение траектории частицы, построить ее и указать направление движения.

**217.** Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания, равна *Е* = 7,0 10-7 Дж, амплитуда колебаний *А* = 2,0 10-2 м. Определить смещение, при котором на тело действует сила *F* = 4,0 10-5 Н, и максимальное значение возвращающей силы.

**224.** Два одинаковых шарика массой *m* = 2,5 10-3 кг каждый подвешены в одной точке на шелковых нитях длиной *l* = 0,70 м. Какие заряды нужно сообщить шарикам, чтобы каждая нить составляла с вертикалью угол α = 45°?

**238.** Две параллельные, бесконечно длинные нити, равномерно заряженные с линейными плотностями τ1 = 1,0 10-7 Кл/м и τ2 = 1,2 10-7 Кл/м находятся на расстоянии *d* = 15 см. Определить силу взаимодействия, приходящуюся на отрезок нити длиной 1 cм.

**246.**  Две параллельные пластины заряжены с поверхностной плотностью σ1 = 3,0 мкКл/м2и σ2. = 1,4 мкКл/м2. Расстояние между ними *d* = 16 мм. Между пластинами вплотную к ним вставлена пластина диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε = 5,0. Определить разность потенциалов между пластинами.

**252.** Определить ёмкость цилиндрического конденсатора с диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε = 5,0. Высота конденсатора *h* = 13 см*,* радиусы обкладок *r*1 = 3,0 см и *r*2 = 2,4 см.

**270.** Сила тока в цепи изменяется по закону *I* =1,2 sin ω *t*. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением *R* = 5,0 Ом за время от *t*1 = 0 до *t*2 = Т/2, если Т = 1,0 с.

**280.** При подключении к источнику тока с ЭДС ε = 24 В резистора с сопротивлением *R* = 30 Ом КПД источника составляет η 60 %. Какую максимальную мощность во внешней цепи может выделить данный источник ?