

МПС СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Одобрено кафедрой  
Электротехники

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

для студентов III курса  
специальностей ЭТ, ЭМ

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

для студентов III курса  
специальности ЭВМ

Задание на контрольную работу № 1  
с методическими указаниями

Москва — 1986

**ЗАДАЧА 2**  
**РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**  
**ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**  
**КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ**

В электрической цепи (рис. 2):

1. Найти действующие значения напряжений и токов на всех участках цепи.
2. Построить топографическую векторную диаграмму.
3. Определить активные, реактивные и полные мощности каждого участка и всей цепи.
4. Составить баланс мощностей.

Параметры схемы для каждого варианта даны в табл. 2.

Таблица 2

Номер строки	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$L_1$ , Г	$L_2$ , Г	$L_3$ , Г	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкФ	$f$ , Гц	$U$ , В
1	40	35	20	0,15	0,1	0,08	40	100	50	380
2	30	25	25	0,07	0,15	0,1	30	80	50	220
3	45	35	32	0,14	0,2	0,06	20	60	50	220
4	60	50	40	0,12	0,1	0,05	120	75	50	380
5	50	25	25	0,13	0,05	0,1	70	45	50	380
6	15	10	8	0,06	0,08	0,1	60	30	50	220
7	35	30	25	0,05	0,1	0,06	80	20	50	127
8	20	18	15	0,08	0,12	0,1	150	40	50	220
9	25	20	18	0,1	0,03	0,05	100	50	50	220
0	10	15	12	0,04	0,06	0,12	50	25	50	220

Примечание. Из табл. 2 записываются данные только тех параметров, которые обозначены на выбранной схеме (рис. 2).

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В комплексном методе расчета электрических цепей переменного тока ЭДС, напряжения, токи и сопротивления представляют в виде комплексных. Комплексные значения величин, изменяющихся по гармоническому закону, обозначают соответствующими прописными буквами, над которыми ставят точку:  $\dot{E}$ ,  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$ . Для обозначения модулей этих величин применяют те же буквы, но без точек над ними:  $E$ ,  $U$ ,  $I$ .

Комплекс полного сопротивления обозначают прописной буквой  $Z$  (без точки), комплекс полной проводимости — буквой  $Y$  (без точки). Модули этих величин обозначают соответствующими строчными буквами  $z$  и  $y$ . Комплексные числа записываются в одной из следующих форм:

$$\dot{A} = a + jb \text{ — алгебраическая форма;}$$

$$\dot{A} = A(\cos \alpha + j \sin \alpha) \text{ — тригонометрическая форма;}$$

$$\dot{A} = Ae^{j\alpha} \text{ — показательная форма;}$$

$$\dot{A} = A \angle \alpha \text{ — полярная форма;}$$

$$\text{где } A = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ — модуль комплексного числа;}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \text{ — аргумент комплексного числа;}$$

$$j = \sqrt{-1} \text{ — мнимая единица.}$$

Если напряжение и ток изменяются по закону синуса

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u);$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

то эти величины в комплексной форме запишутся так:

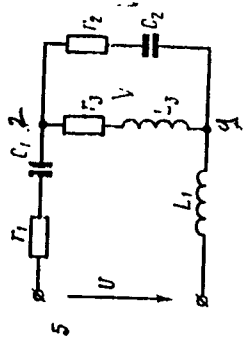
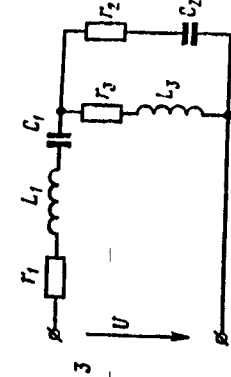
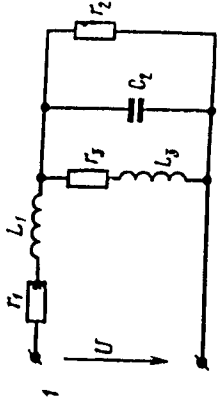
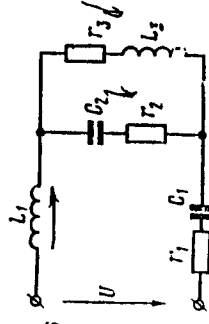
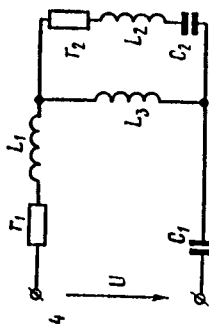
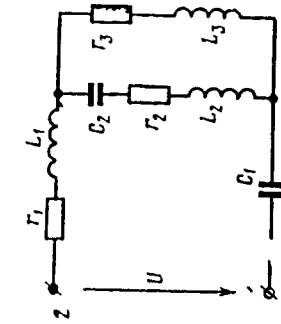
$$\dot{U} = Ue^{j\psi_u} \text{ и } \dot{I} = Ie^{j\psi_i},$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ и } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Комплекс полного сопротивления цепи, состоящей из последовательно включенных  $r$ ,  $L$  и  $C$ ,

$$\underline{Z} = r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = r + jx = ze^{j\varphi},$$

$$\text{где } z = \sqrt{r^2 + x^2}, \varphi = \operatorname{arctg} \frac{x}{r}.$$



h

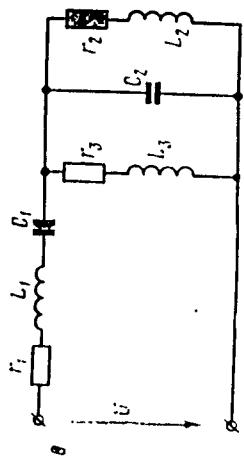
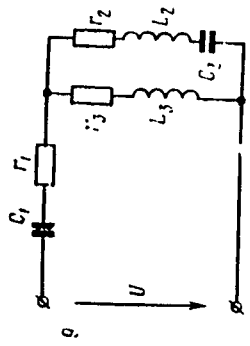
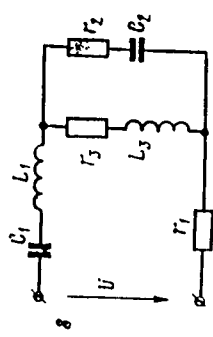
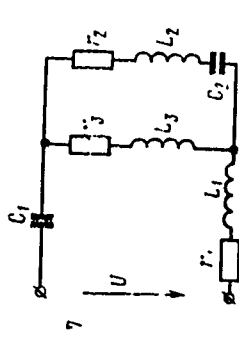


Рис. 2

Для расчета цепей синусоидального переменного тока комплексным методом применяются все методы, известные из теории электрических цепей постоянного тока (методы уравнений Кирхгофа, контурных токов, узловых потенциалов, преобразования и другие). Все отличие состоит в том, что вместо действительных чисел, соответствующих токам, напряжениям и сопротивлениям в цепях постоянного тока, при расчете цепей переменного тока используются комплексные числа. При расчете цепи целесообразно при умножении и делении комплексных чисел использовать показательную форму их записи.

Пример. Для электрической цепи (рис. 3) найти действующие значения токов и напряжений на всех участках, активные, реактивные и полные мощности всей цепи и отдельных участков с проверкой баланса мощностей; построить топографическую векторную диаграмму.

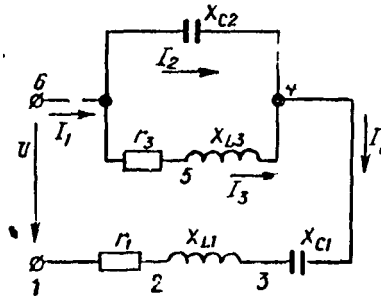


Рис. 3

Дано:

$$U = 380 \text{ В}; r_1 = 6 \text{ Ом}; x_{L1} = 12 \text{ Ом};$$

$$x_{C1} = 4 \text{ Ом}; x_{C2} = 6 \text{ Ом}; r_3 = 10 \text{ Ом}; x_{L3} = 8 \text{ Ом}.$$

Решение. Записываем комплексы сопротивлений.

$$\underline{Z}_1 = r_1 + jx_{L1} - jx_{C1} = 6 + j8 = 10e^{j53^\circ 10'} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = -jx_{C2} = -j6 = 6e^{-j90^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = r_3 + jx_{L3} = 10 + j8 = 12,8e^{j38^\circ 40'} \text{ Ом}.$$

Найдем комплекс полного сопротивления цепи

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 9,6e^{j7^\circ 50'} \text{ Ом}.$$

Приняв  $\dot{U} = U$ , найдем токи отдельных участков

$$\dot{I}_1 = \frac{U}{Z} = 39,6e^{-j7^\circ 50'} \text{ A}; \quad 39,2 - j5,16$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 \frac{Z_4}{Z_2 + Z_3} = 50e^{j19^\circ 30'} \text{ A}; \quad 47,1 + j16,52$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 \quad \dot{I}_3 = 23,4e^{-j109^\circ 10'} \text{ A}. \quad -7,9 - j22,8$$

Напряжения отдельных участков

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 = 396e^{j45^\circ 20'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{23} = \dot{U} - \dot{U}_1 = 300e^{-j70^\circ 30'} \text{ В}.$$

Комплекс полной мощности

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}_1^* = P + jQ,$$

где  $P = 14,85$  кВт;  $Q = 2,04$  квар.

Аналогично находят  $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3$ , при этом

$$\tilde{S} = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3.$$

Для построения топографической диаграммы вычислим напряжения на всех элементах цепи:

$$\dot{U}_{r_1} = \dot{I}_1 r_1 = 39,6e^{-j7^\circ 50'} \cdot 6 = 237,6e^{-j7^\circ 50'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L_1} = \dot{I}_1 jx_{L_1} = 39,6e^{-j7^\circ 50'} \cdot 12e^{j90^\circ} = 475,2e^{j82^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C_1} = \dot{I}_1 (-jx_{C_1}) = 39,6e^{-j7^\circ 50'} \cdot 4e^{-j90^\circ} = 158,4e^{-j97^\circ 50'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C_2} = \dot{I}_2 (-jx_{C_2}) = 50e^{j19^\circ 30'} \cdot 6e^{-j90^\circ} = 300e^{-j70^\circ 30'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{r_3} = \dot{I}_3 r_3 = 23,4e^{-j109^\circ 10'} \cdot 10 = 234e^{-j109^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L_3} = \dot{I}_3 jx_{L_3} = 23,4e^{-j109^\circ 10'} \cdot 8e^{j90^\circ} = 187,2e^{-j19^\circ 10'} \text{ В}.$$

Задавшись масштабом, отложим на диаграмме векторы токов

$\dot{I}_1, \dot{I}_2$  и  $\dot{I}_3$  (рис. 4). Сумма токов  $\dot{I}_2 + \dot{I}_3$  равна вектору тока  $\dot{I}_1$ . Примем потенциал точки 1 равным нулю и определим комплексные потенциалы остальных точек, обходя схему навстречу положительному направлению токов. Комплексный потенциал  $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1 + \dot{I}_1 r_1 = \dot{I}_1 r_1$ .

*и*

Построив из точки 1 вектор напряжения на сопротивлении  $\dot{I}_1 r_1$  (совпадает по фазе с током  $\dot{I}_1$ ), получим на диаграмме точку 2. Комплексный потенциал  $\varphi_3 \neq \varphi_2 + \dot{I}_1 j x_{L1}$ .

Построив из точки 2 вектор индуктивного напряжения  $\dot{I}_1 j x_L$  (по фазе опережает ток  $\dot{I}_1$  на  $90^\circ$ ), получим точку 3. Комплексный потенциал  $\varphi_4 = \varphi_3 + \dot{I}_1 (-j x_{C1})$ .

Построив из точки 3-вектор  $\dot{I}_1 (-j x_{C1})$  емкостного напряжения (по фазе отстает от тока  $\dot{I}_1$  на  $90^\circ$ ), получим на диаграмме точку 4.

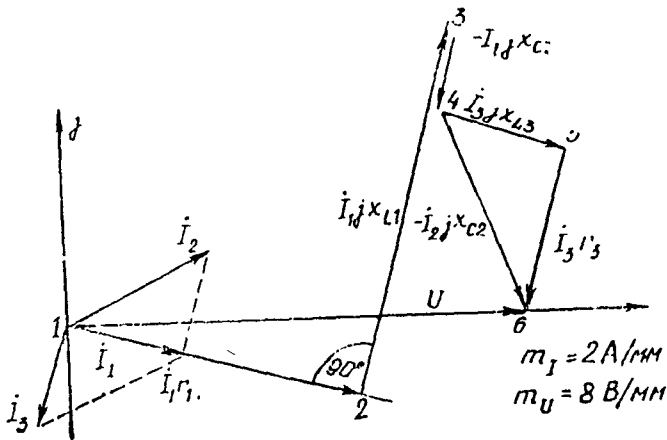


Рис. 4

Аналогично определяем комплексные потенциалы точек 5 и 6.

Вектор, соединяющий точку 1 с точкой 6 и направленный из точки 1 к точке 6, изображает напряжение  $U$  на зажимах цепи. Вектор, проведенный из начала координат в какую-либо точку диаграммы, изображает комплексный потенциал соответствующей точки цепи.

Примеры расчета: [2; 4.5], [5; 35], [9; 3 16, 3.20], [10; 54 А 6], [11; 1—7].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [8; 5.9], [9; 3.22, 3 28].



### ЗАДАЧА 3

#### РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ

В электрической схеме (рис. 5) известны напряжения источника ЭДС и параметры всех элементов (табл. 3). Частота  $f=50$  Гц.

Таблица 3

Номер строки	U, В	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$L_1$ , мГ	$L_2$ , мГ	$L_3$ , мГ	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкФ	K
1	220	30	25	20	150	100	80	40	80	0,75
2	300	25	25	30	75	150	100	30	70	0,7
3	250	40	40	30	120	160	60	25	50	0,8
4	200	50	50	40	120	80	60	120	80	0,85
5	350	50	30	40	120	60	80	70	40	0,73
6	110	10	15	8	60	70	110	60	40	0,8
7	220	30	30	20	50	80	60	80	30	0,7
8	380	20	15	15	80	110	100	150	70	0,75
9	250	25	20	25	100	80	60	80	50	0,83
0	110	10	15	15	40	60	120	60	30	0,8

Примечание. В условии задачи записываются те параметры табл. 3, которые показаны на выбранной схеме.

1. Определить токи и напряжения на всех участках схемы по законам Кирхгофа. Результаты расчета проверить по второму закону Кирхгофа.

2. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

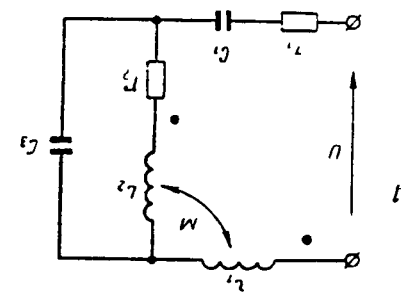
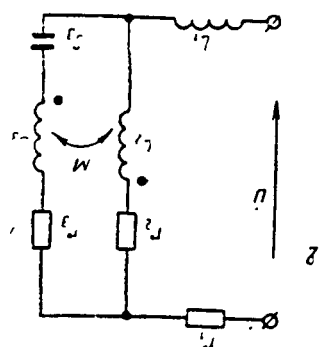
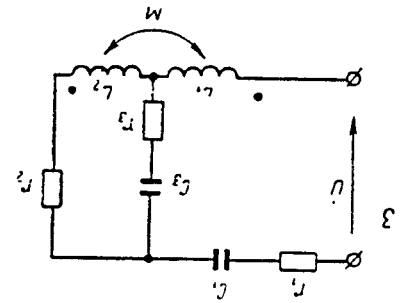
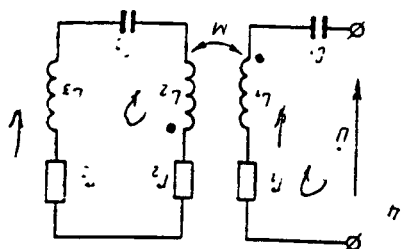
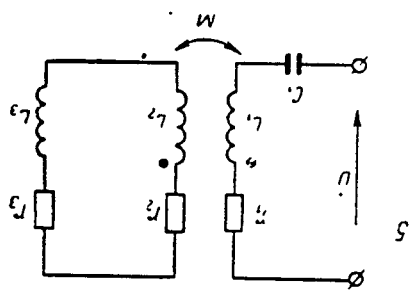
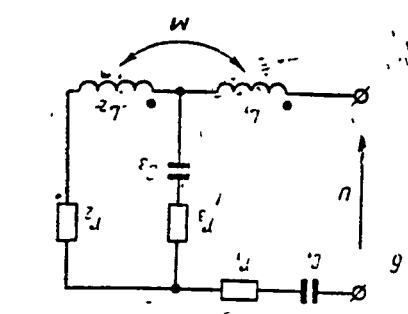
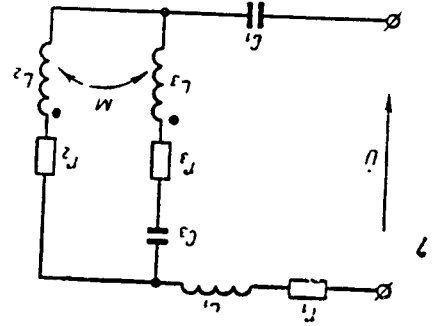
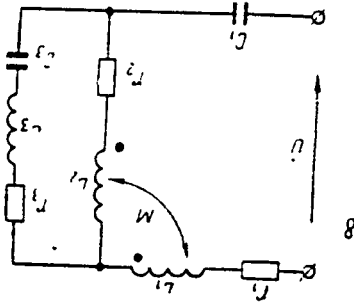
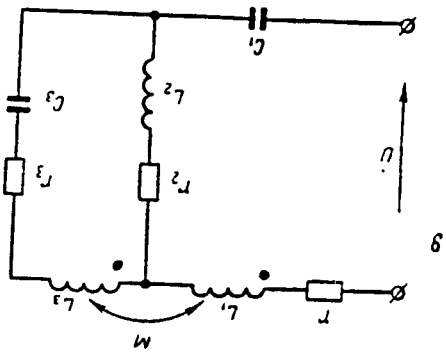
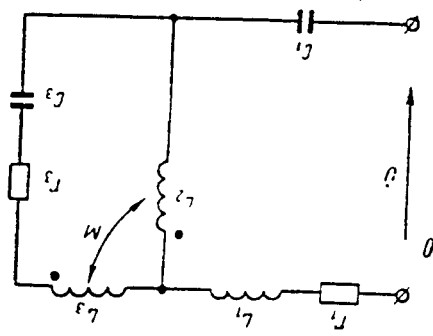
3. Определить активную мощность, передаваемую через магнитную связь от одной катушки к другой.

Примечание. Для схем 4,5 (рис. 5) построить векторную диаграмму токов и напряжений.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приведенная в задании цепь является двухконтурной цепью с одной магнитной связью. Расчет разветвленных цепей переменного тока при наличии магнитных связей между элементами производится по законам Кирхгофа или методом контурных токов. Метод узловых потенциалов непосредственно для расчета таких цепей неприменим, так как ток в каждой ветви в этом случае зависит не только от напряже-

PH. 3



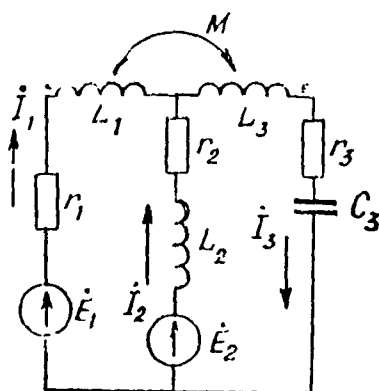


Рис 6

ния и ЭДС данной ветви, но и от токов других ветвей, магнитно связанных с данной. Точно так же при расчете цепей с взаимными индуктивностями нельзя пользоваться методами преобразования цепей, в том числе методом преобразования треугольника сопротивлений в звезду и обратно.

Теорему об активном двухполюснике (эквивалентном генераторе) можно применять, если внешняя по отношению к двухполюснику часть цепи не имеет индуктивных связей с остальной частью цепи.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует придерживаться следующего правила определения знаков напряжений взаимной индукции: при совпадении направления обхода элемента  $K$  и направления тока в элементе  $L$ , магнитно-связанном с элементом  $K$ , относительно одноименных зажимов, напряжение взаимной индукции на элементе  $K$  берется со знаком плюс ( $+j\omega M_{KL} \dot{I}_L$ ), в противном случае -- со знаком минус ( $-j\omega M_{KL} \dot{I}_L$ ).

В качестве примера составим уравнения по законам Кирхгофа для схемы (рис. 6) в соответствии с указанными на ней положительными направлениями ЭДС, токов ветвей и разметкой зажимов:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 &= 0; \\ \dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_3 \underline{Z}_M - \dot{I}_2 \underline{Z}_2 &= \dot{E}_1 - \dot{E}_2; \\ \dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_3 \underline{Z}_M + \dot{I}_3 \underline{Z}_3 - \dot{I}_1 \underline{Z}_M &= \dot{E}_1. \end{aligned}$$

В этих уравнениях:

$$\underline{Z}_1 = r_1 + j\omega L_1;$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + j\omega L_2;$$

$$\underline{Z}_3 = r_3 + j \left( \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right);$$

$$\underline{Z}_M = j\omega M.$$

Примеры расчета: [9; 46], [5; 5.18, 5.19, 5.33; 5.37].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [9; 5.22].

---

*Канд. пед. наук, доц. Л. А. ЧАСТОЕДОВ,  
канд. техн. наук, доц. Ю. Г. КРАВЦОВ*

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**Задание на контрольную работу № 1**

Редактор Д. И. Мягков  
Техн. редактор Н. И. Соловьева  
Корректор Т. А. Царикова

---

Сдано в набор 2.07.1986. Подписано в печать 23.12.1986. Тираж 10 000.  
Гарнитура литературная. Печать высокая. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,5. Тип. зак. 1154. Изд. зак. 236. Бесплатно.

---

\*Редакционно-издат. отдел, типография ВЗИИТа,  
Москва, А-315, ул. Часовая, 22/2