ТЕМА

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА ПРИ СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №2

Методические указания с требованиями по оформлению и вариантами расчётно-графической работы приведены на сайте

http:// vinokurovuniver.jimdo.com

Номер варианта определяется по **трём последним цифрам номера зачётной книжки** студента

первая цифра — соответствует номеру строки **из таблицы 1**

вторая цифра — соответствует номеру строки **из таблицы 2**

третья цифра — соответствует номеру строки **из таблицы 3**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА
«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

Расчётно - графическая работа № 2

по теме:

«Расчёт линейных электрических цепей с синусоидальным источником ЭДС»

ВАРИАНТ №: 0 - 5 - 2

Выполнил студент группы ЭЛ2-1

Сидоров В.П.

Проверил: доцент ВИНОКУРОВ М.Р.

ТАБЛИЦА ОТВЕТОВ

Параметр	I_1 А	I_2 А	I_3 А	I_4 А	I_5 А	$P_{ист.}$ Вт	$Q_{ист.}$ Вар	δ_P, %	δ_Q, %
Значе									

Содержание расчётно-графического задания:

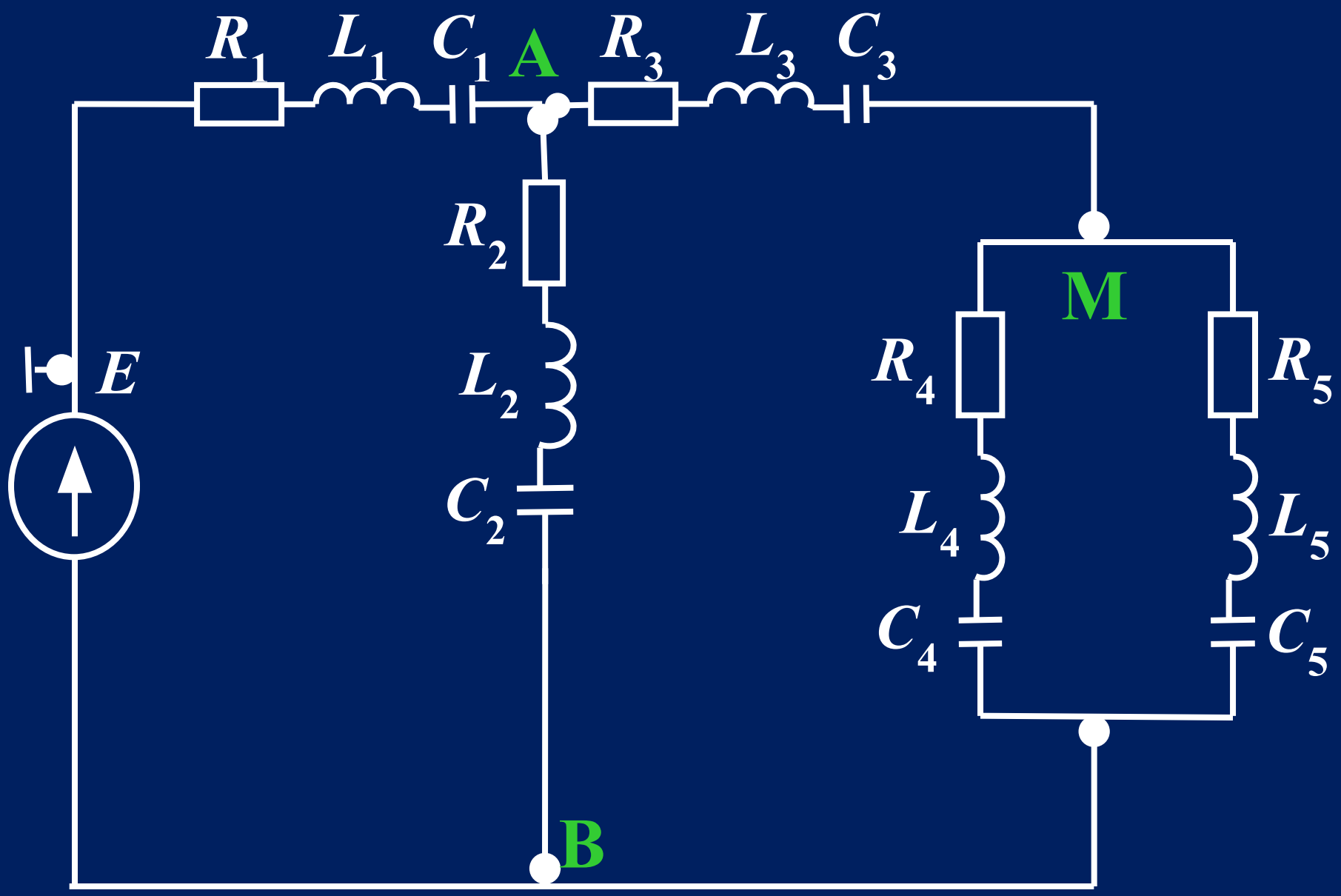
1. Комплексным методом рассчитать действующие и мгновенные значения всех токов и напряжений на каждом элементе электрической цепи.
2. Определить комплексную мощность источника энергии и проверить баланс мощностей.

3. Построить лучевую диаграмму токов и векторно-топографическую диаграмму напряжений

4. С помощью программных средств рассчитать и построить частотные характеристики входного комплексного сопротивления цепи, АЧХ и ФЧХ входного тока цепи.

5. Результаты расчетов занести в таблицу ответов на титульном листе

Общий вид схемы замещения



Во всех вариантах частота источника ЭДС $f = 50$ Гц

Таблица 1

№	E, В	Ψ_e, град	R_1, Ом	L_1, мГн	C_1, мкФ
1	100	0	10	50	100
2	120	-45	15	0	120
3	75	60	20	80	-
4	90	45	0	200	140
5	50	-60	0	0	80
6	60	120	16	0	-
7	140	-120	0	110	-
8	70	180	25	130	85
9	130	90	13	0	200
0	200	-30	0	0	-

Таблица 2

№	R_2, Ом	L_2, мГн	C_2, мкФ	R_3, Ом	L_3, мГн	C_3, мкФ
1	20	40	160	0	0	-
2	24	0	-	25	130	85
3	0	30	-	18	0	140
4	0	0	250	12	60	-
5	22	0	120	16	0	-
6	30	150	-	14	0	95
7	0	160	140	13	100	-
8	14	200	80	20	80	130
9	17	0	90	10	0	100
0	0	60	40	0	100	120

Таблица 3

№	R_4, Ом	L_4, мГн	C_4, мкФ	R_5, Ом	L_5, мГн	C_5, мкФ
1	18	0	-	20	40	160
2	0	200	-	24	0	100
3	0	0	250	0	30	50
4	22	0	120	16	80	-
5	30	150	-	0	0	120
6	0	60	40	22	150	-
7	17	180	90	18	160	140
8	15	0	50	0	200	-
9	20	40	-	0	0	90
0	24	0	100	19	0	-

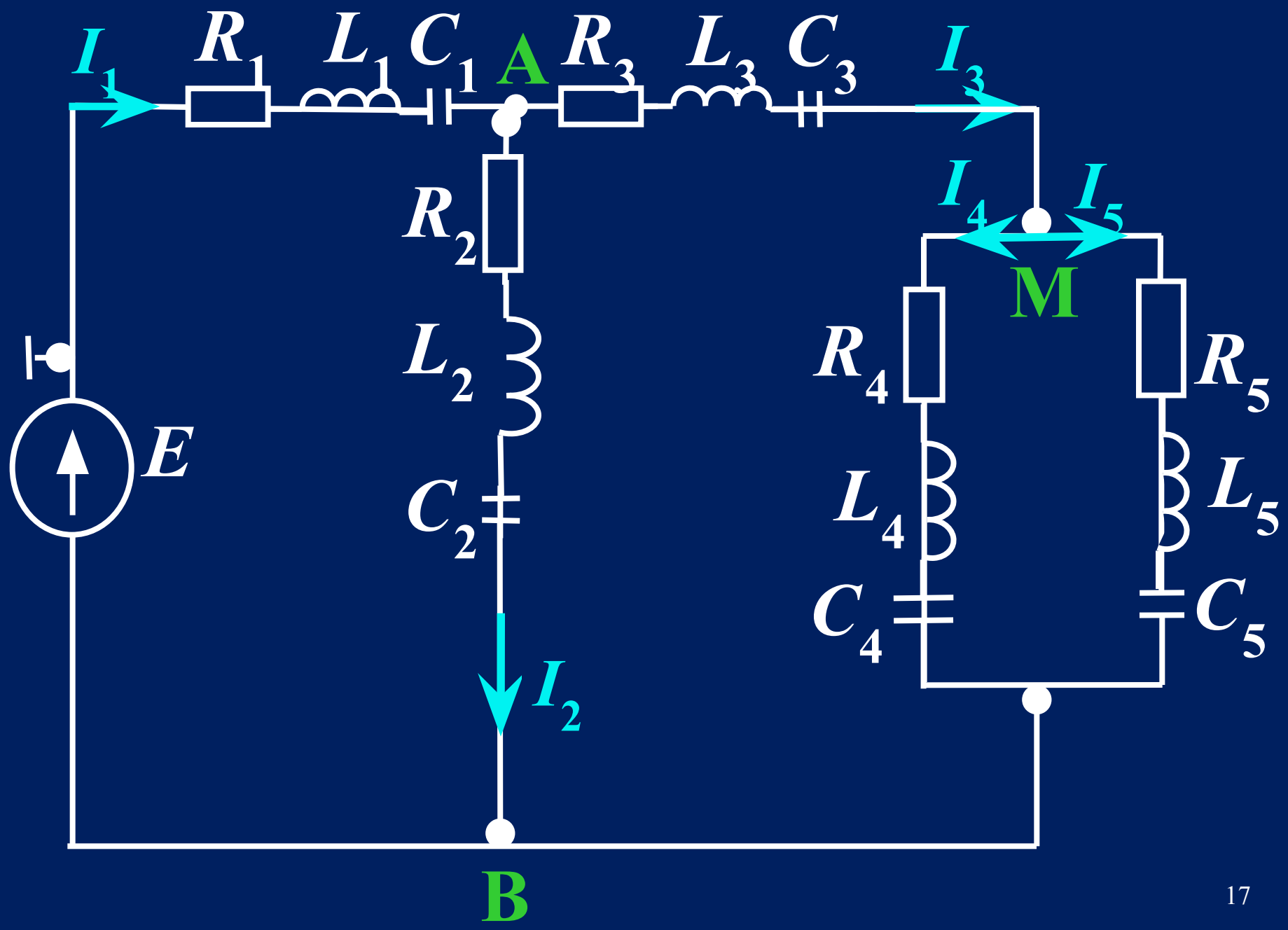
В качестве примера рассмотрим вариант задачи с исходными данными:

E, В	Ψ_e, град	R_1, Ом	L_1, мГн	C_1, мкФ
100	0	8	0	637

R_2, Ом	L_2, мГн	C_2, мкФ	R_3, Ом	L_3, мГн	C_3, мкФ
0	31,8	-	0	95	-

R_4, Ом	L_4, мГн	C_4, мкФ	R_5, Ом	L_5, мГн	C_5, мкФ
4	0	-	0	0	200

С учётом приведённых исходных данных, соответствующих варианту расчётно-графической работы, общая схема замещения преобразуется к виду:

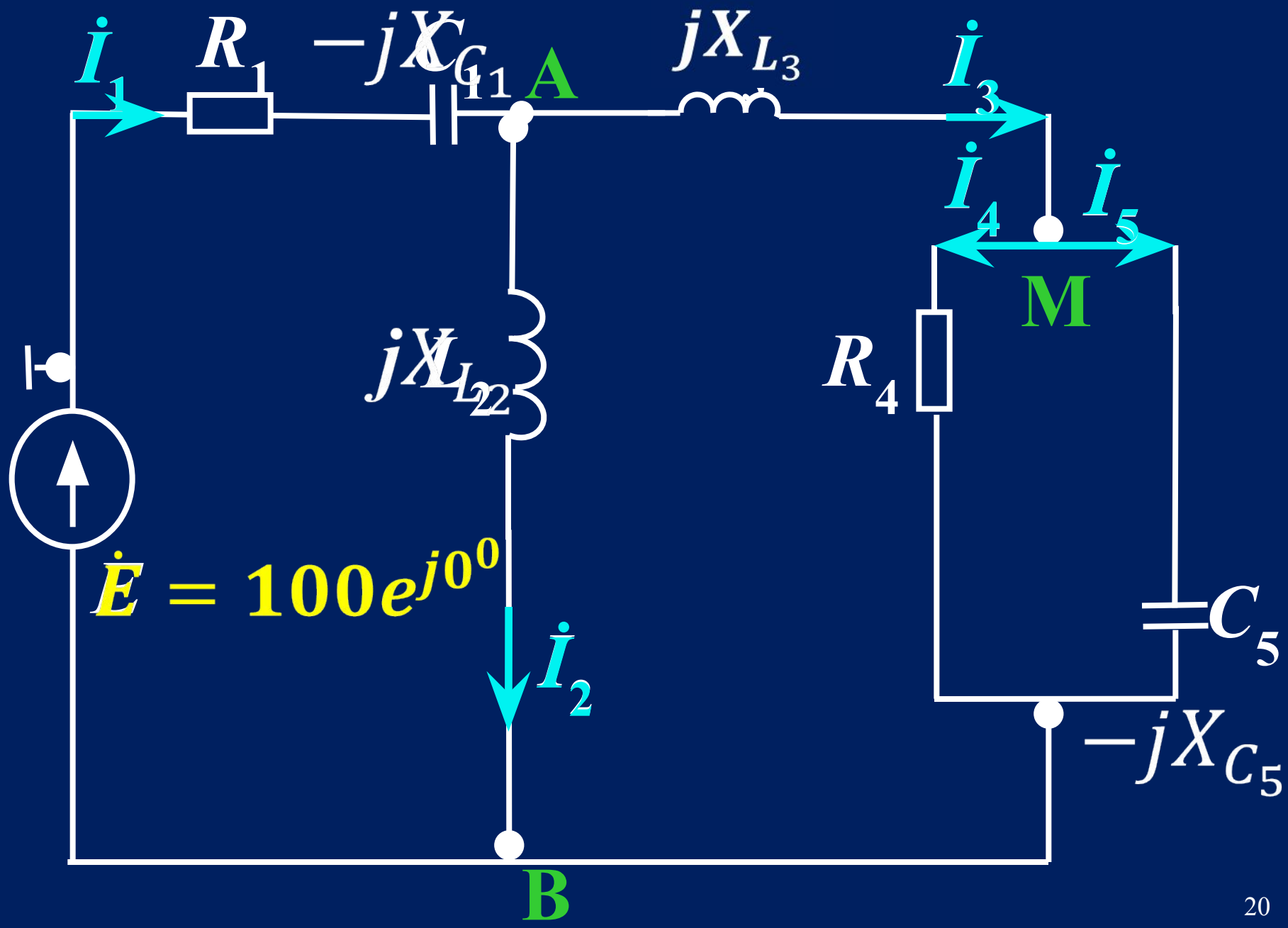

I1
R1
L1
C1
A
R3
L3
C3
I3
R2
I4
I5
M
L2
R4
R5
E
C2
L4
L5
C4
C5
I2
B

РЕШЕНИЕ

1. Комплексным методом рассчитать действующие и мгновенные значения всех токов и напряжений на каждом элементе электрической цепи.

Применим символический метод расчёта, для чего введём комплексные сопротивления участков электрической цепи и представим реальную схему замещения в комплексной форме.

Схема замещения в комплексной форме:



Определяем комплексные сопротивления реактивных элементов

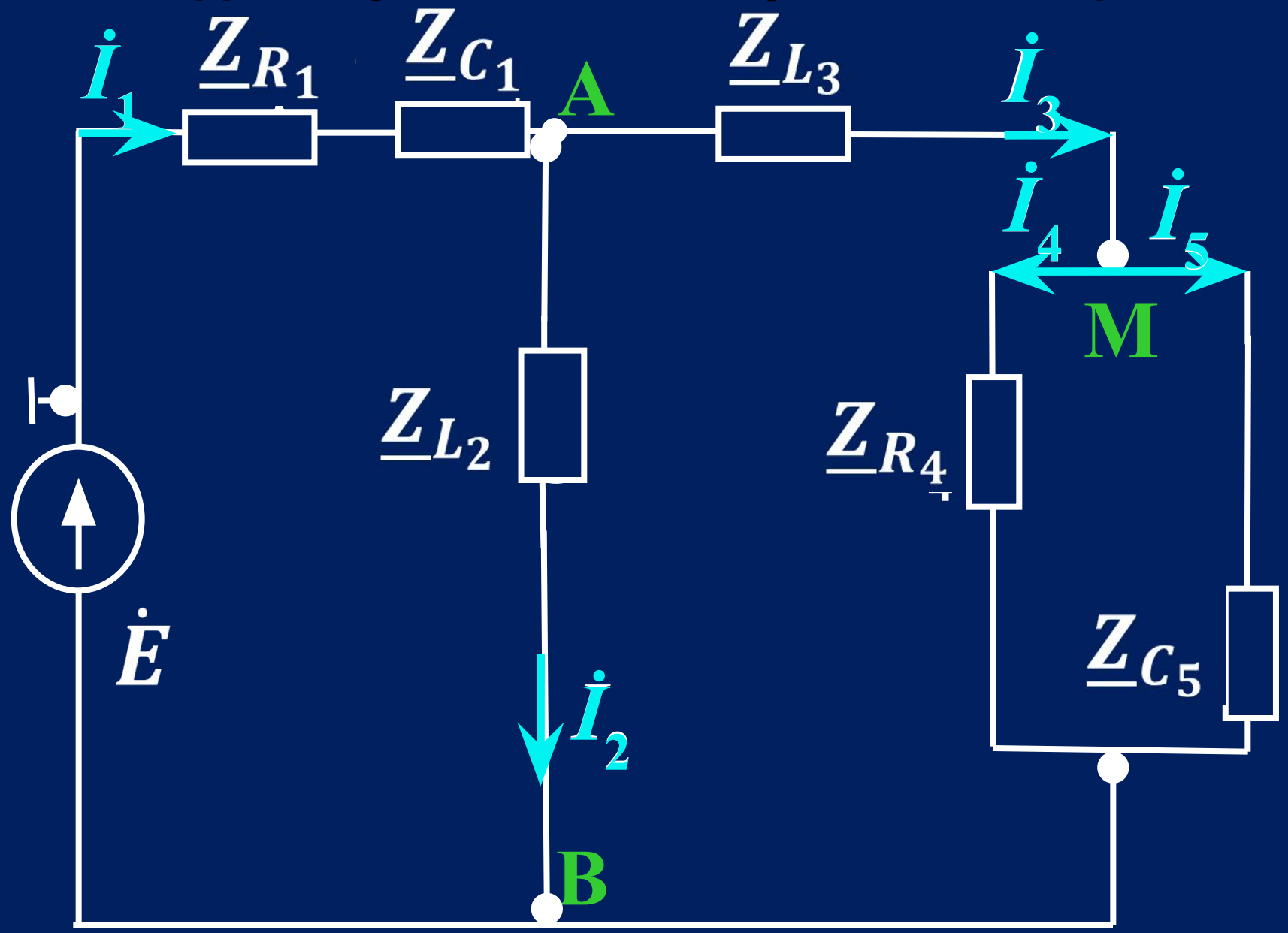
$$-jX_{C_1} = -j\frac{1}{2\pi f C_1} = -j\frac{10^6}{2\pi\times 50\times 637} = -j5$$

$$-jX_{C_5} = -j\frac{1}{2\pi f C_5} = -j\frac{10^6}{2\pi\times 50\times 200} = -j15,92$$

$$jX_{L_2} = j2\pi f L_2 = j2\pi\times 50\times 31,8\times 10^{-3} = j9,985$$

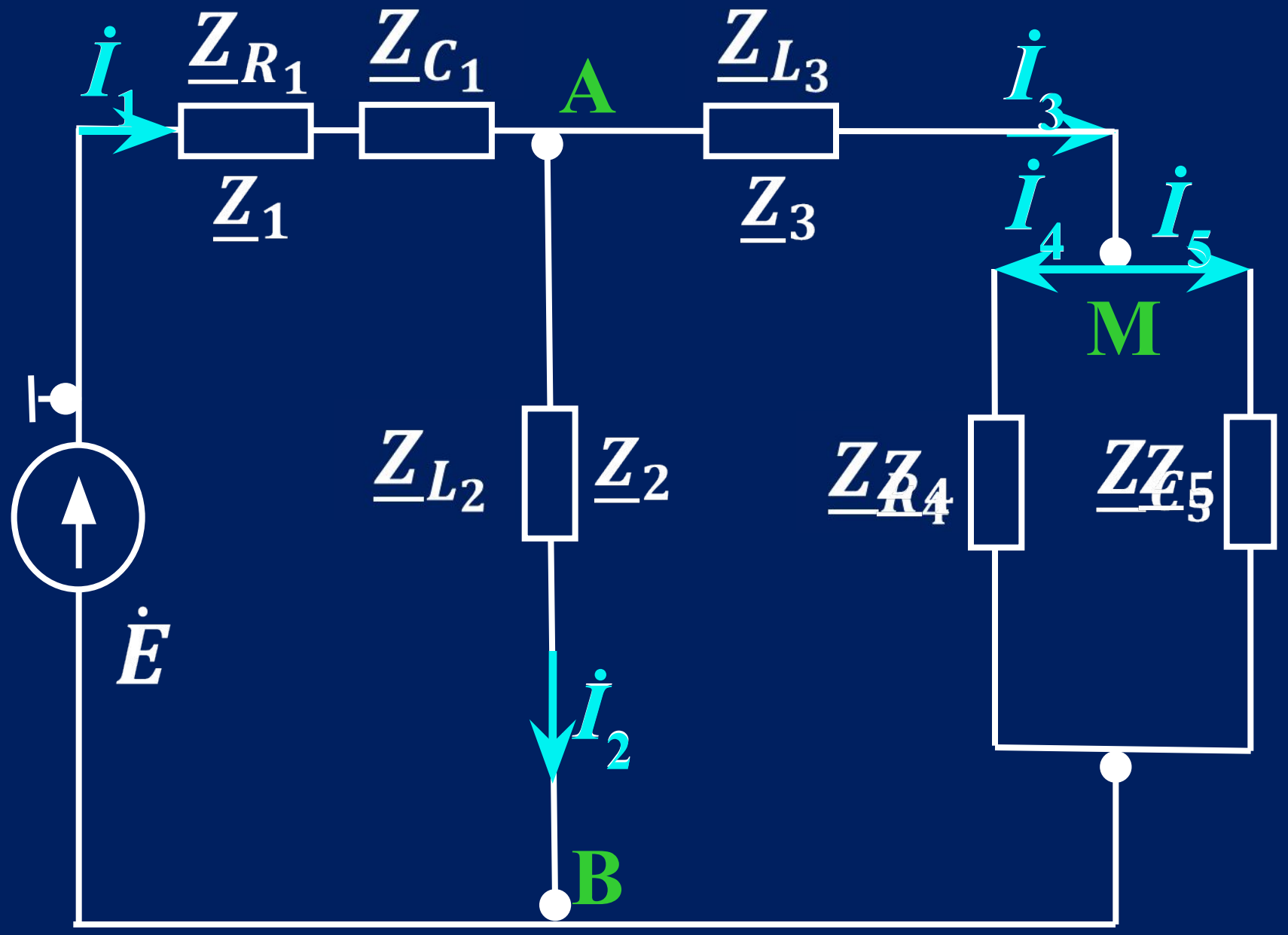
$$jX_{L_3} = j2\pi f L_3 = j2\pi\times 50\times 95\times 10^{-3} = j29,83$$

Обозначим комплексные сопротивления каждого участка электрической цепи:



Алгебраическая и показательная форма записи комплексных сопротивлений каждого участка электрической цепи

Обозначим комплексные сопротивления каждой ветви электрической цепи:



Определяем комплексные сопротивления каждой ветви электрической цепи

$$\underline{Z}_1 = 8 - j5 = 9,434e^{-j32^0}$$

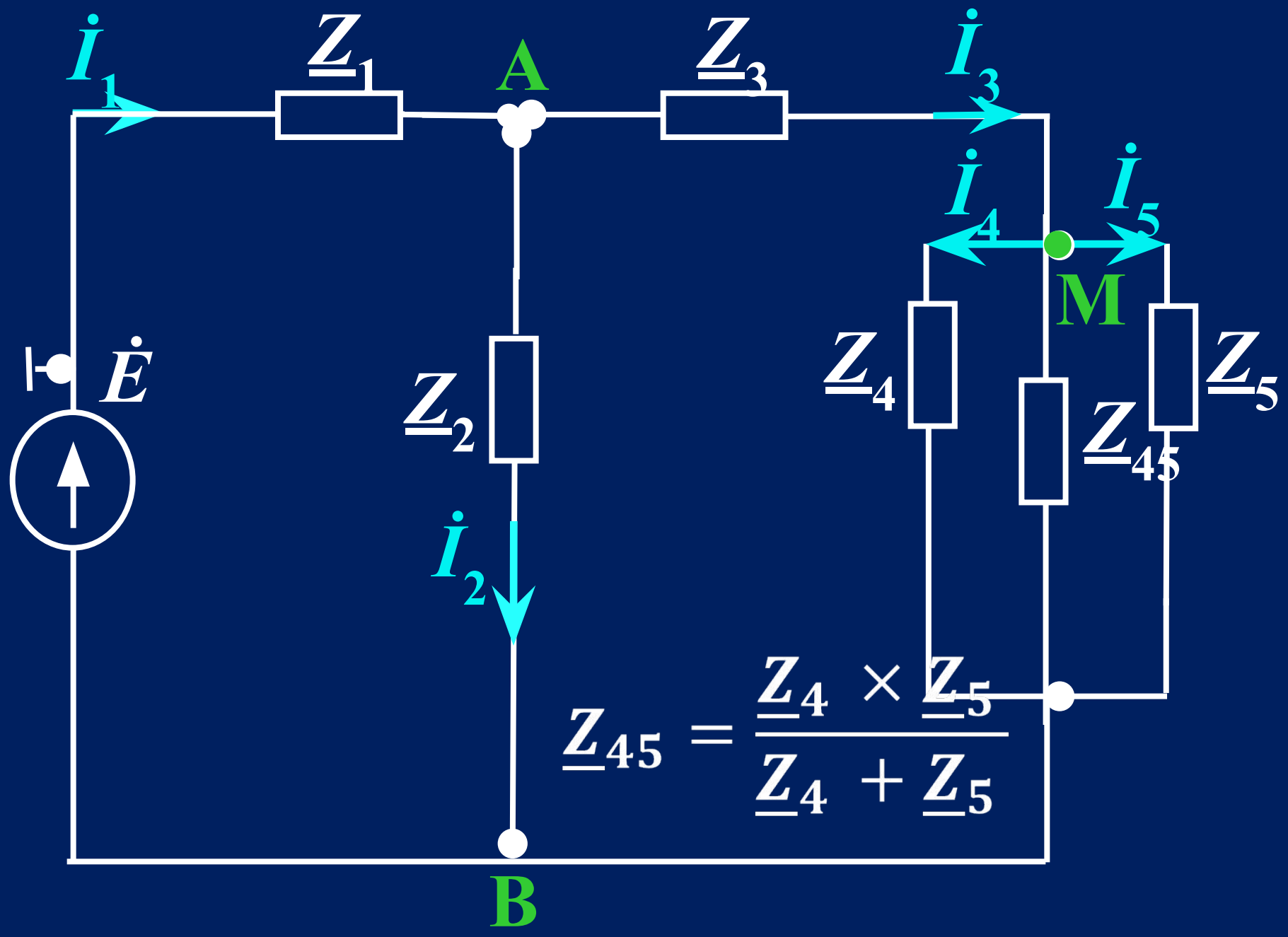
$$\underline{Z}_2 = 0 + j9,985 = 9,985e^{j90^0}$$

$$\underline{Z}_3 = 0 + j29,83 = 29,83e^{j90^0}$$

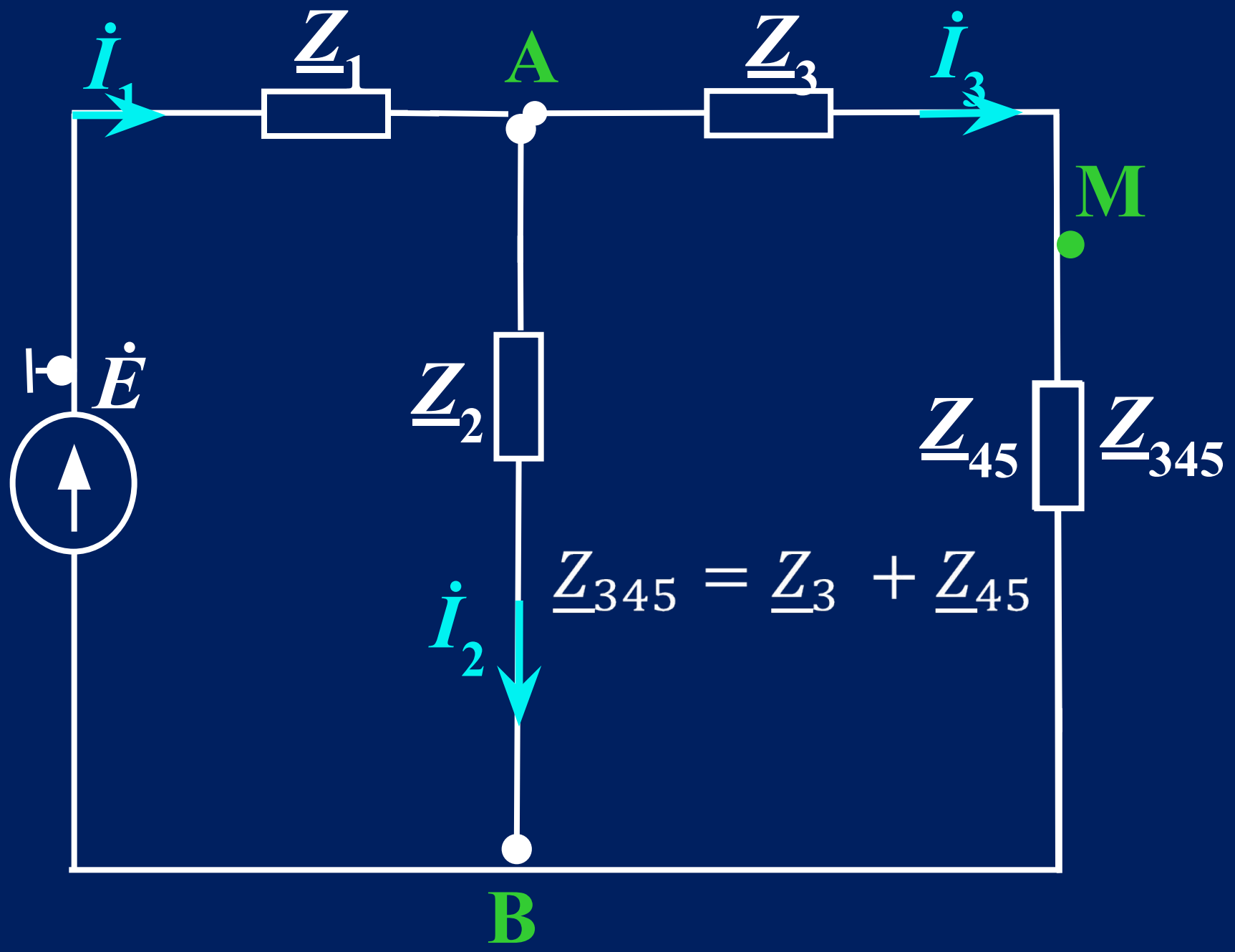
$$\underline{Z}_4 = 4 + j0 = 4e^{j0^0}$$

$$\underline{Z}_5 = 0 - j15,92 = 15,92e^{-j90^0}$$

Произведём преобразования схемы замещения в комплексной форме, заменяя параллельные и последовательные соединения их эквивалентными комплексными сопротивлениями

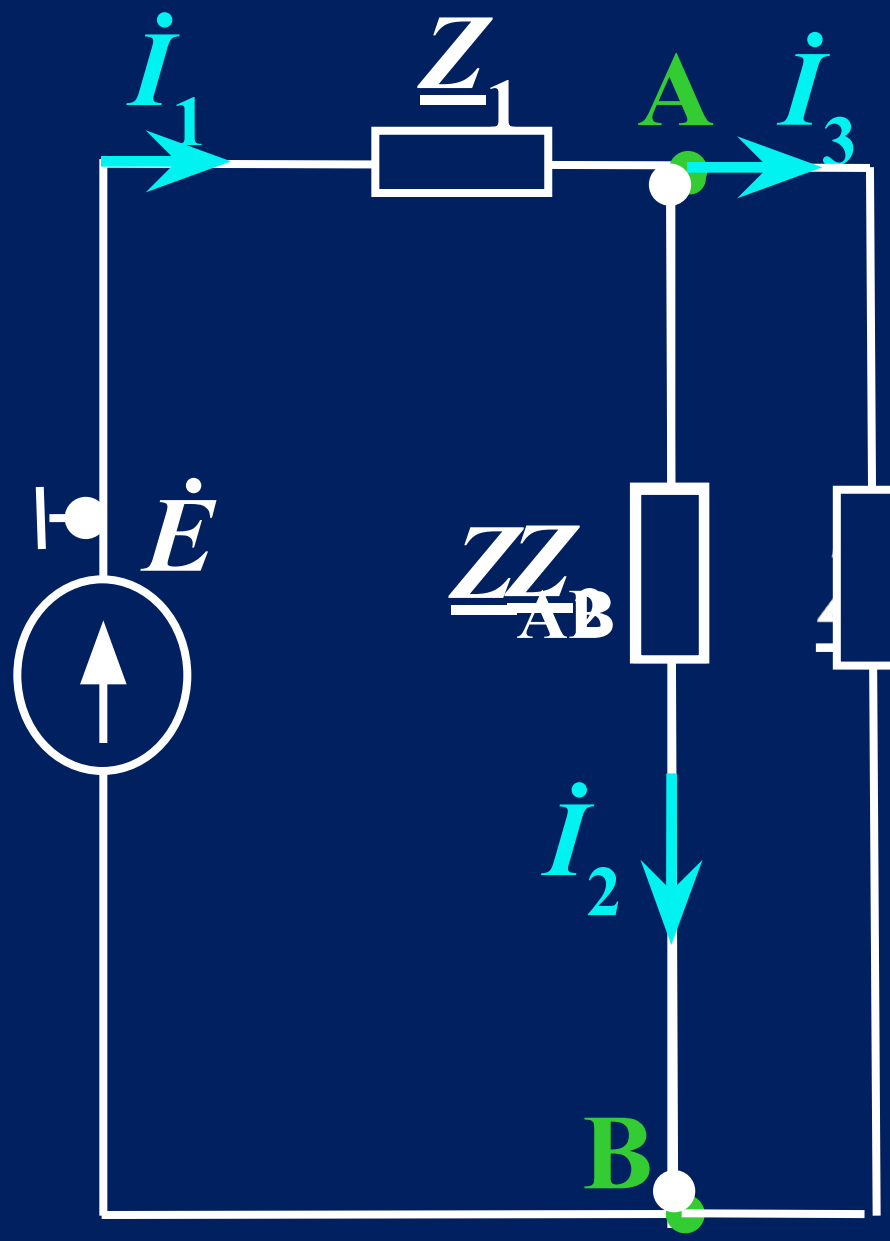

$\dot{I}_1$
$\underline{Z}_1$
A
$\underline{Z}_3$
$\dot{I}_3$
$\dot{I}_4$
$\dot{I}_5$
M
$\dot{E}$
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_4$
$\underline{Z}_5$
$\underline{Z}_{45}$
$\dot{I}_2$
$\underline{Z}_{45} = \dfrac{\underline{Z}_4 \times \underline{Z}_5}{\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5}$
B

$$\underline{Z}_{45} = \frac{\underline{Z}_4 \times \underline{Z}_5}{\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5} =$$



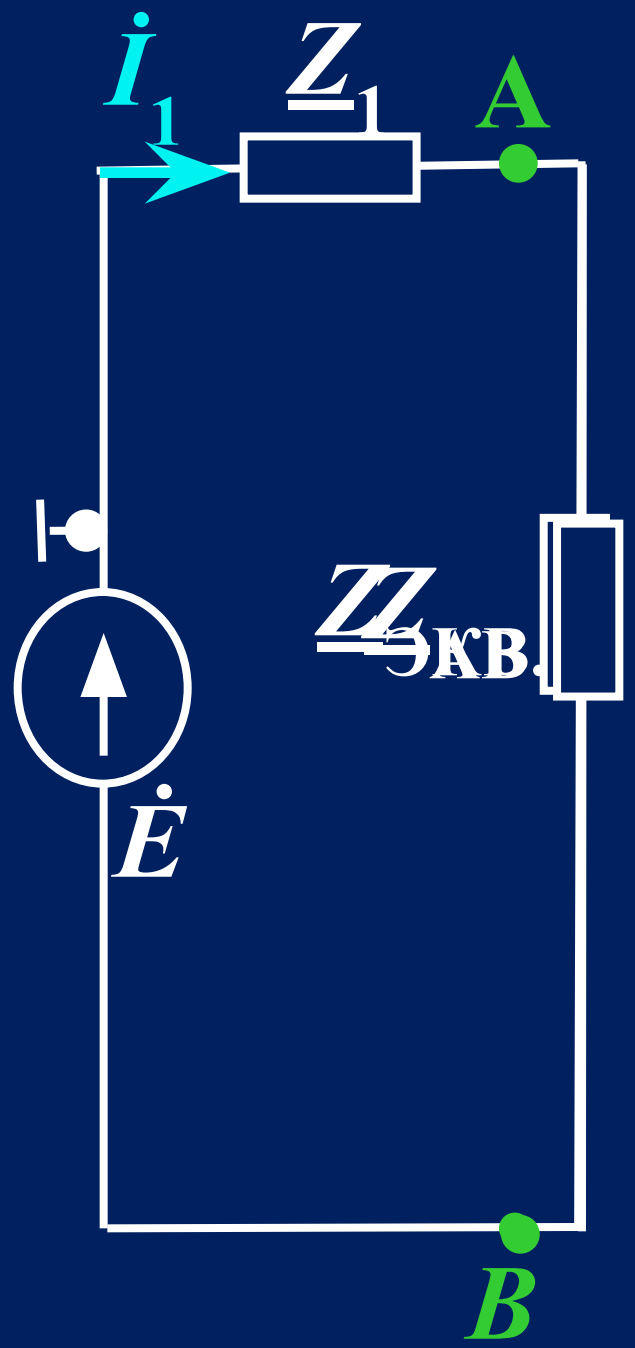
$$\underline{Z}_{345} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{45}$$

$$\underline{\boldsymbol{Z}}_{\mathbf{345}} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{45}$$



$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{AB345} = \frac{\underline{Z}_2 \times \underline{Z}_{345}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{345}}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{AB}} = \frac{\underline{Z}_2 \times \underline{Z}_{345}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{345}} =$$



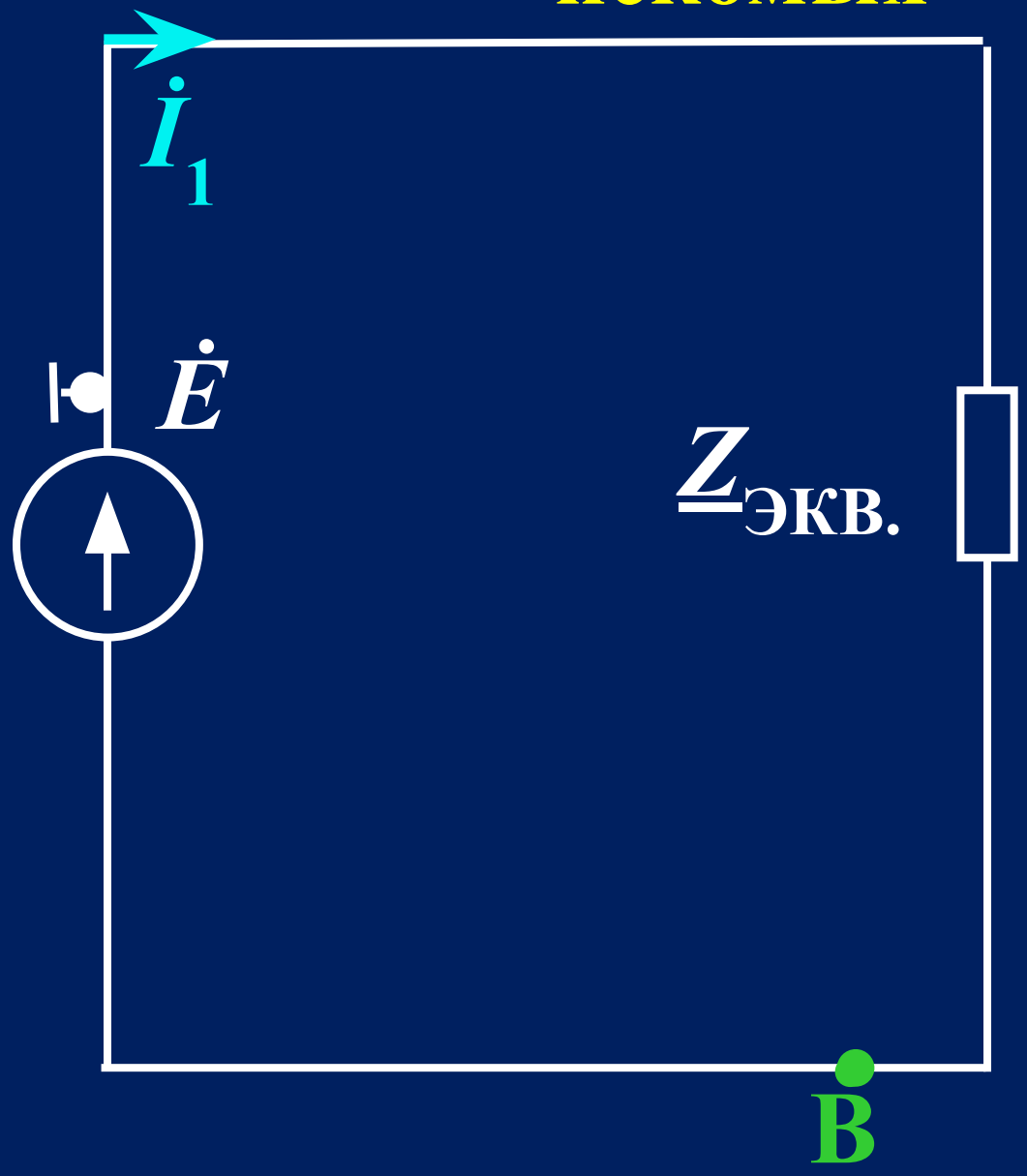
$$\underline{Z}_{экв.} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{AB} =$$

$$= 8 - j5 + 0{,}2471 + j7{,}448 =$$

$$= \mathbf{8{,}247 + j2{,}448} =$$

$$= \mathbf{8{,}603 e^{j16{,}5\,^0}}$$

Определяем комплексные значения искомых токов

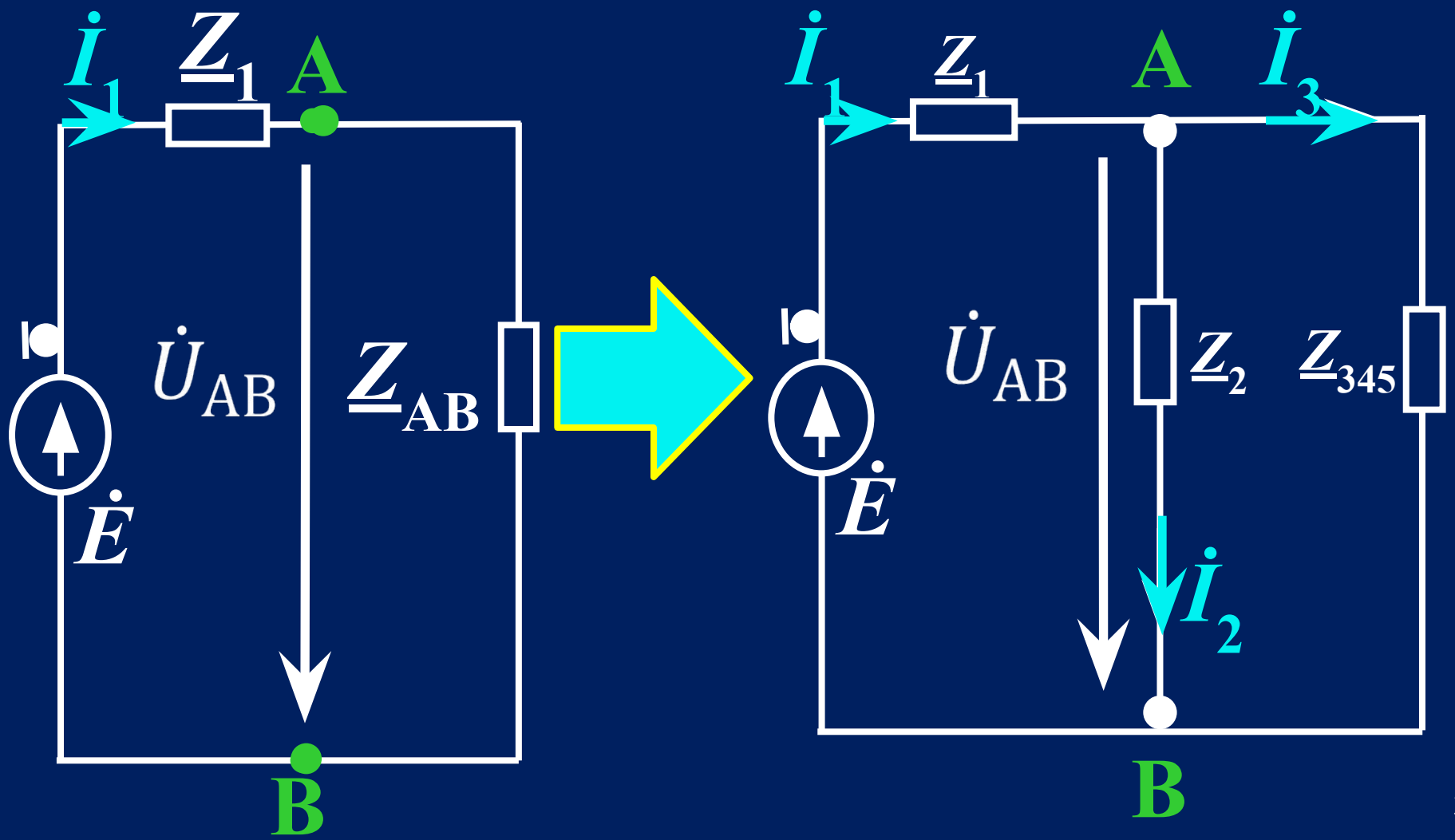


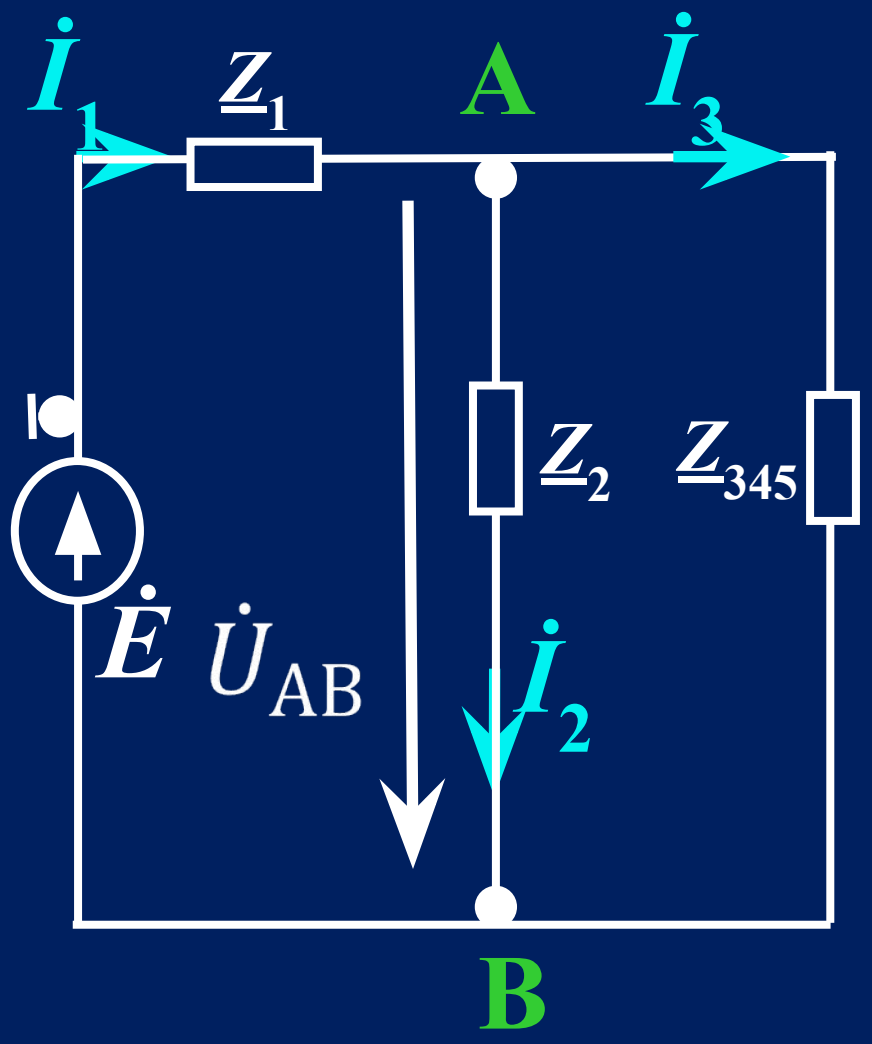
$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_{экв.}} =$$

$$= \frac{100e^{j0^0}}{8{,}603e^{j16{,}5\,^0}} =$$

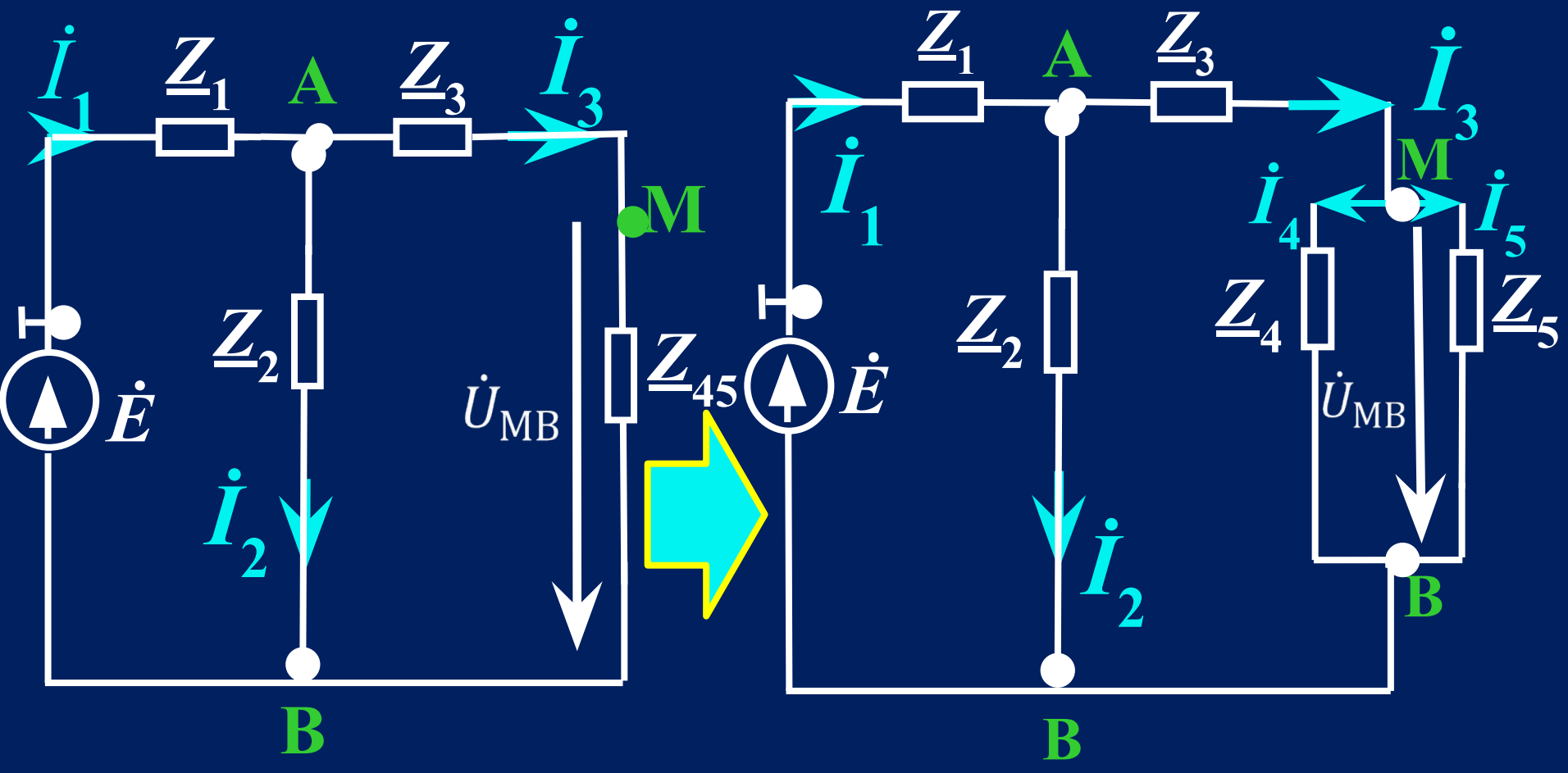
$$= \mathbf{11{,}62e^{j-16{,}5\,^0}}$$

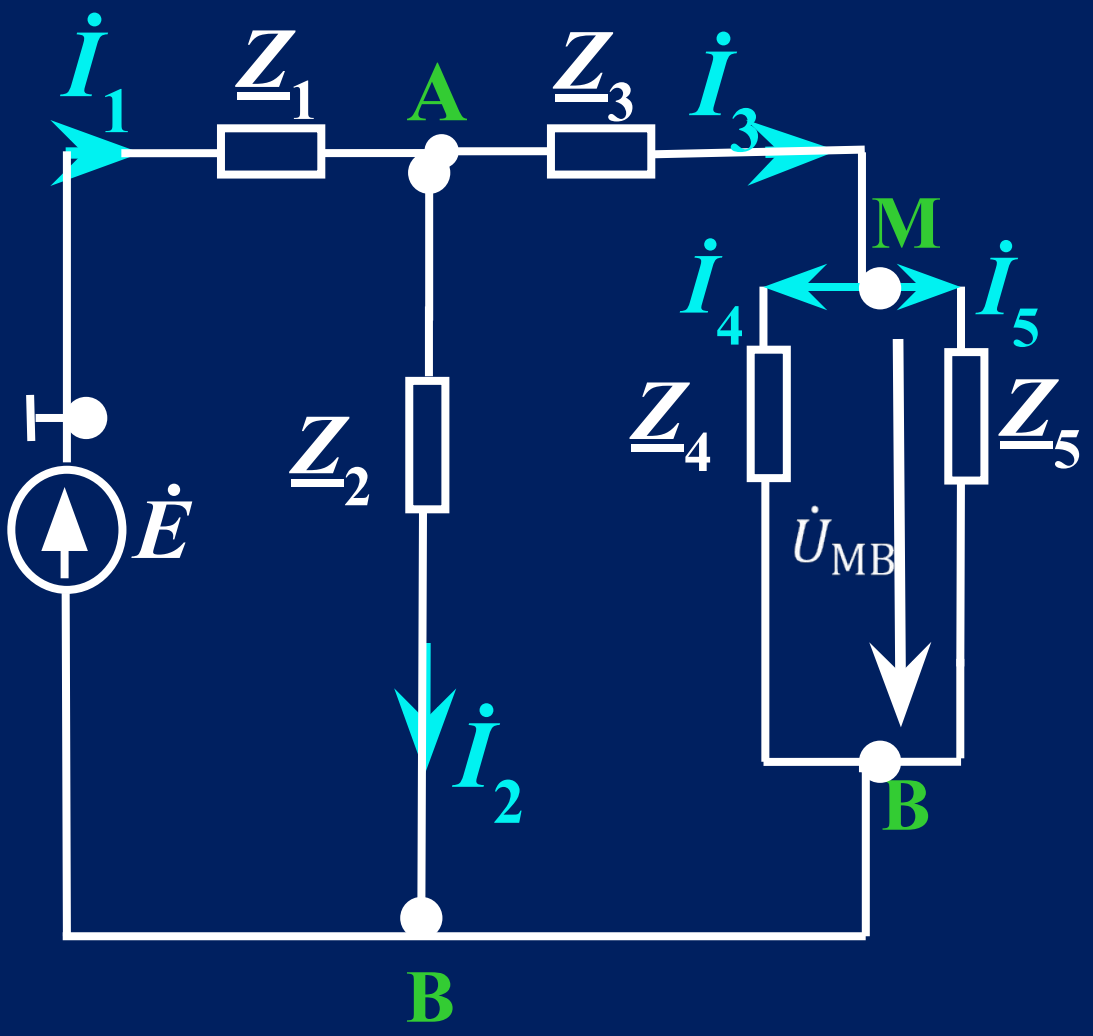
$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_1 \times \underline{Z}_{AB} =$$




$\dot{I}_1$
$\underline{Z}_1$
A
$\dot{I}_3$
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_{345}$
$\dot{E}$
$\dot{U}_{AB}$
$\dot{I}_2$
B

$$\dot{U}_{MB} = \dot{I}_3 \times \underline{Z}_{45} =$$




$\dot{I}_1$
$\underline{Z}_1$
A
$\underline{Z}_3$
$\dot{I}_3$
M
$\dot{I}_4$
$\dot{I}_5$
$\underline{Z}_4$
$\underline{Z}_5$
$\underline{Z}_2$
$\dot{E}$
$\dot{U}_{MB}$
$\dot{I}_2$
B
B

Определяем действующие значения токов во всех ветвях электрической цепи

$I_1 =$

$I_2 =$

$I_3 =$

$I_4 =$

$I_5 =$

Определяем мгновенные значения токов во всех ветвях электрической цепи

$$i_1(t) =$$

$$i_2(t) =$$

$$i_3(t) =$$

$$i_4(t) =$$

$$i_5(t) =$$

Определяем комплексные значения напряжений на всех элементах электрической цепи

$$\dot{U}_{C_1} = \dot{I}_1 \times \underline{Z}_{C_1} = 11{,}62e^{-j16{,}5^0} \times 5e^{-j90{,}0^0} =$$

$$\mathbf{58{,}1e^{-j106{,}5^0}}$$

$$\dot{U}_{R_1} = \dot{I}_1 \times \underline{Z}_{R_1} = 11{,}62e^{-j16{,}5^0} \times 8e^{-j0^0} =$$

$$\mathbf{92{,}96e^{-j16{,}5^0}}$$

$$\dot{U}_{L_2} = \dot{I}_2 \times \underline{Z}_{L_2} = 8{,}672e^{-j18{,}4^0} \times 9{,}985e^{j90{,}0^0} =$$

$$\mathbf{86{,}59e^{j71{,}6^0}}$$

$$\dot{U}_{L_3} = \dot{I}_3 \times \underline{Z}_{L_3} = 2{,}973e^{-j11{,}0^0} \times 29{,}83e^{j90{,}0^0} =$$

$$\mathbf{88{,}69e^{j79{,}0^0}}$$

$$\dot{U}_{R_4} = \dot{I}_4 \times \underline{Z}_{R_4} = 2{,}885e^{-j25{,}1^0} \times 4e^{j0^0} =$$

$$\mathbf{11{,}54e^{-j25{,}1^0}}$$

$$\dot{U}_{C_5} = \dot{I}_5 \times \underline{Z}_{C_5} = 0{,}7249e^{j64{,}9^0} \times 15{,}92e^{-j90{,}0^0} =$$

$$\mathbf{11{,}54e^{-j25{,}1^0}}$$

Определяем действующие значения напряжений на всех элементах электрической цепи

$$U_{C_1} =$$

$$U_{R_1} =$$

$$U_{L_2} =$$

$$U_{L_3} =$$

$$U_{R_4} =$$

$$U_{C_5} =$$

Определяем мгновенные значения напряжений на всех элементах электрической цепи

$u_{C_1}(t) =$

$u_{R_1}(t) =$

$u_{L_2}(t) =$

$u_{L_3}(t) =$

$u_{R_4}(t) =$

$u_{C_5}(t) =$

2. Определить комплексную мощность источника энергии и проверить баланс мощностей

ОПРЕДЕЛЯЕМ КОМПЛЕКСНУЮ МОЩНОСТЬ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

$$\tilde{S}_{\text{ист.}} = \dot{E} \times \overset{*}{\dot{I}}_1 = 100e^{j0^0} \times 11{,}62e^{j16{,}5^0} =$$

$$= 1162e^{j16{,}5^0} = 1114 + j330$$

$S_{\text{ист.}}$ $P_{\text{ист.}}$ $Q_{\text{ист.}}$

$$P_{\text{ист.}} = 1114 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ист.}} = 330 \text{ Вар}$$

$$S_{\text{ист.}} = 1162 \text{ ВА}$$

ОПРЕДЕЛЯЕМ КОМПЛЕКСНУЮ МОЩНОСТЬ ПРИЁМНИКОВ ЭНЕРГИИ

$$\tilde{S}_{\text{ПР.}} = I_1^2 \times \underline{Z}_1 + I_2^2 \times \underline{Z}_2 + I_3^2 \times \underline{Z}_3 + I_4^2 \times \underline{Z}_4 + I_5^2 \times \underline{Z}_5 =$$

$P_{\text{пр.}}$ $Q_{\text{пр.}}$ $S_{\text{пр.}}$

$P_{пр.} = 1113{,}5$ Вт

$Q_{пр.} = 331{,}1$ Вар

$S_{пр.} = 1161{,}7$ ВА

Определяем погрешность вычислений

$$\delta_{\mathrm{P}} = \frac{|\mathrm{P}_{\text{ист.}} - \mathrm{P}_{\text{пр.}}|}{\mathrm{P}_{\text{ист.}}} \times 100\% = 0{,}04\%$$

$$\delta_{\mathrm{Q}} = \frac{|Q_{\text{ист.}} - Q_{\text{пр.}}|}{Q_{\text{ист.}}} \times 100\% = 0{,}33\%$$

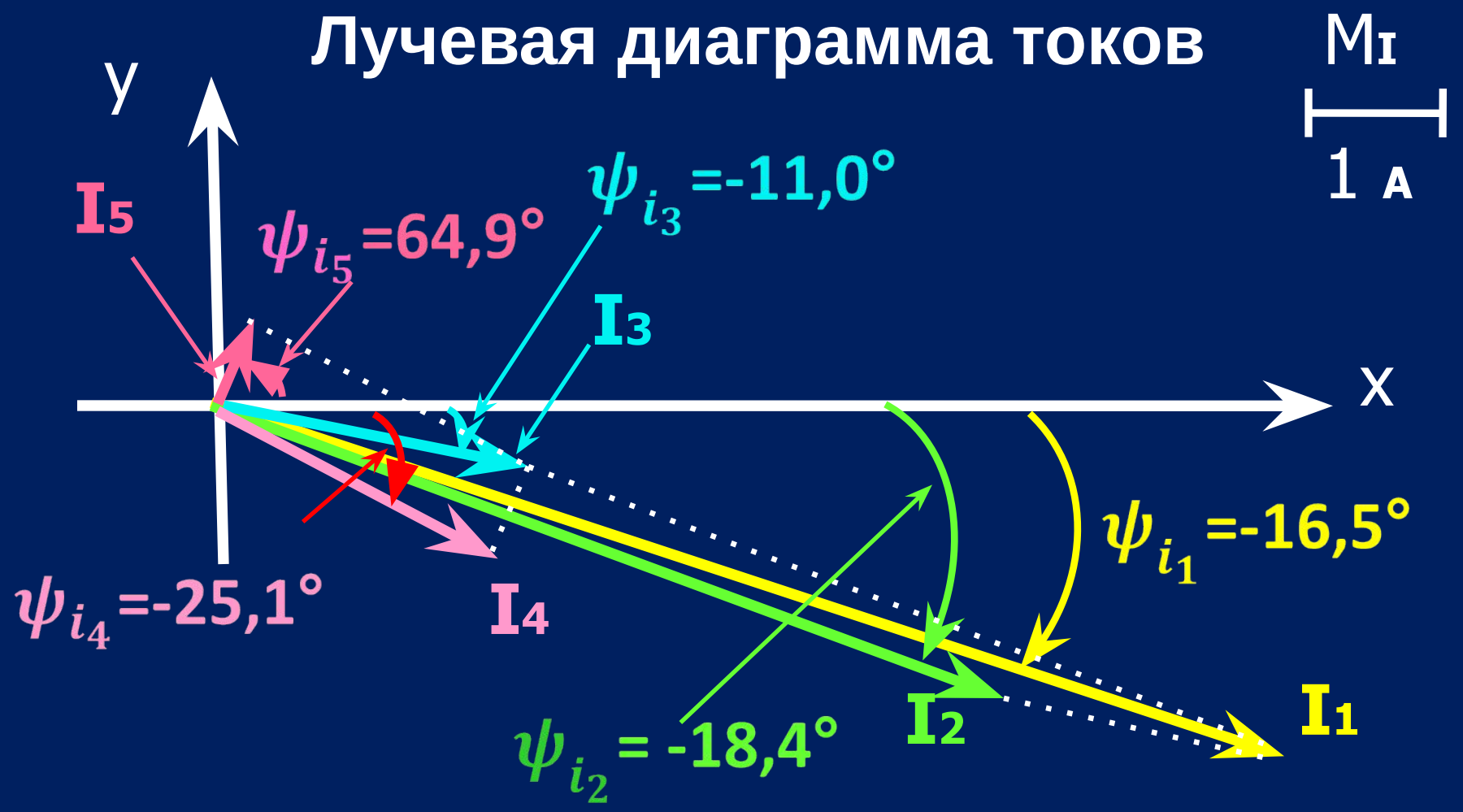
$$\delta_{\mathrm{S}} = \frac{|S_{\text{ист.}} - S_{\text{пр.}}|}{S_{\text{ист.}}} \times 100\% = 0{,}026\%$$

3. Построить лучевую диаграмму токов и векторно-топографическую диаграмму напряжений

Таблица результатов расчёта

Параметр	Действующее значение	Начальная фаза
	11,62	
	8,672	
	2,973	
	2,885	
	0,7249	
	58,1	
	92,96	
	86,59	
	88,69	
	11,54	
	11,54	
E	100,0	

Лучевая диаграмма токов

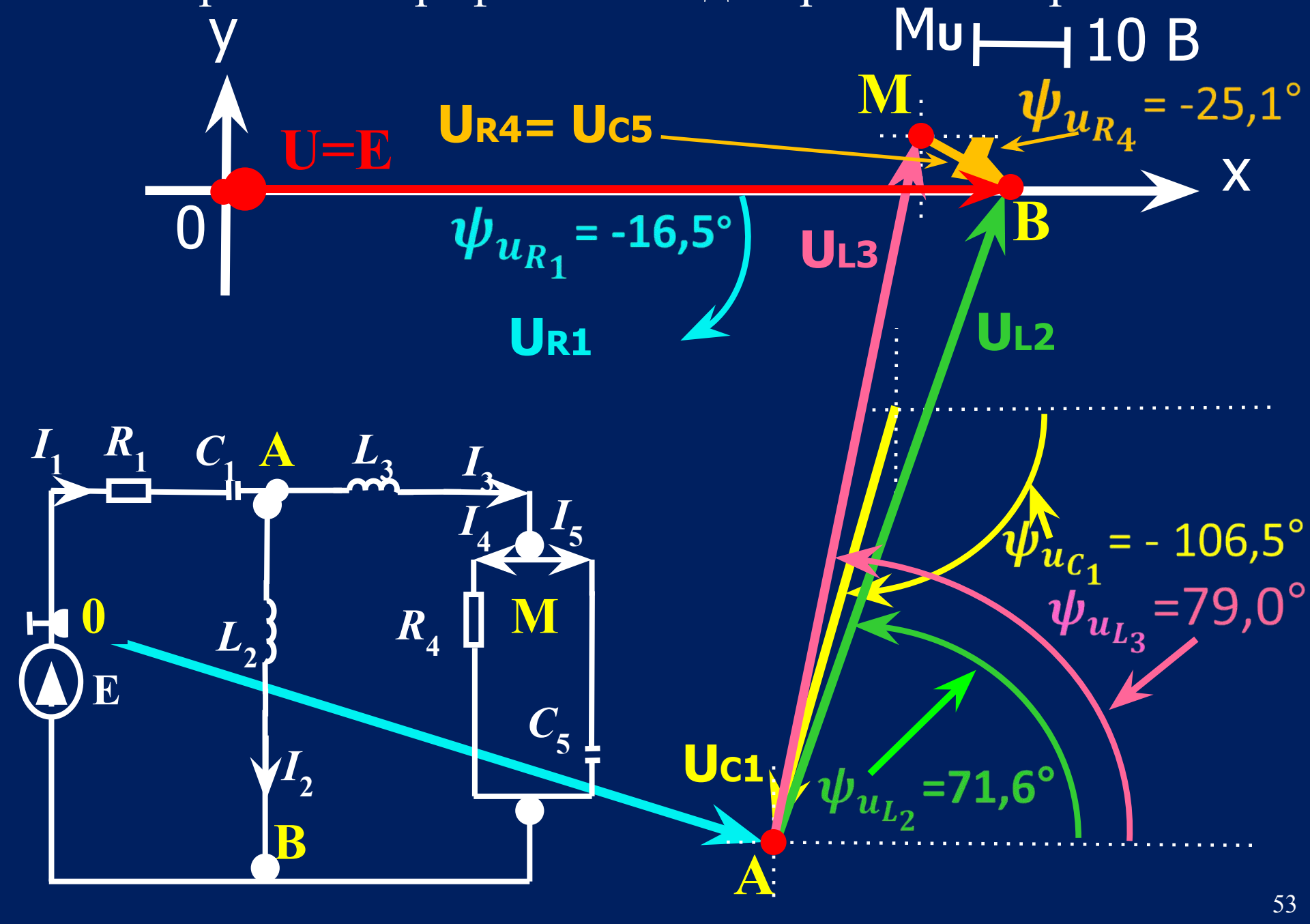


$$\dot{I}_3 = \dot{I}_4 + \dot{I}_5$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$$

Проверка построения при помощи I закона Кирхгофа

Векторно-топографическая диаграмма напряжений



4. С помощью программных средств рассчитать и построить частотные характеристики входного комплексного сопротивления цепи, АЧХ и ФЧХ электрической цепи

Программа выполняет расчёт в автоматическом режиме для **частот: 1,5,10,50,100,400,800,1000,1500,5000** Гц. Результаты расчёта при частоте f = 50 Гц должны совпадать с результатами ручного расчёта. Программа выполняет построение частотной характеристики входного комплексного сопротивления цепи, амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик электрической цепи. Вид характеристик позволяет провести анализ цепи в условиях возможного резонанса

Для использования специализированной программы достаточно ввести исходные данные в таблицу :

п.4 Расчёт и построение частотных характеристик, АЧХ и ФЧХ

E, В	R_1, Ом	L_1, мГн	C_1, мкФ
100	8	0	637
Ψ_e, град	R_2, Ом	L_2, мГн	C_2, мкФ
0	0	31,8	1E+20
Расчётно-графическая работа №2	R_3, Ом	L_3, мГн	C_3, мкФ
	0	95	1E+20
	R_4, Ом	L_4, мГн	C_4, мкФ
	4	0	1E+20
	R_5, Ом	L_5, мГн	C_5, мкФ
	0	0	200
ВАРИАНТ №		X	X

внимание!

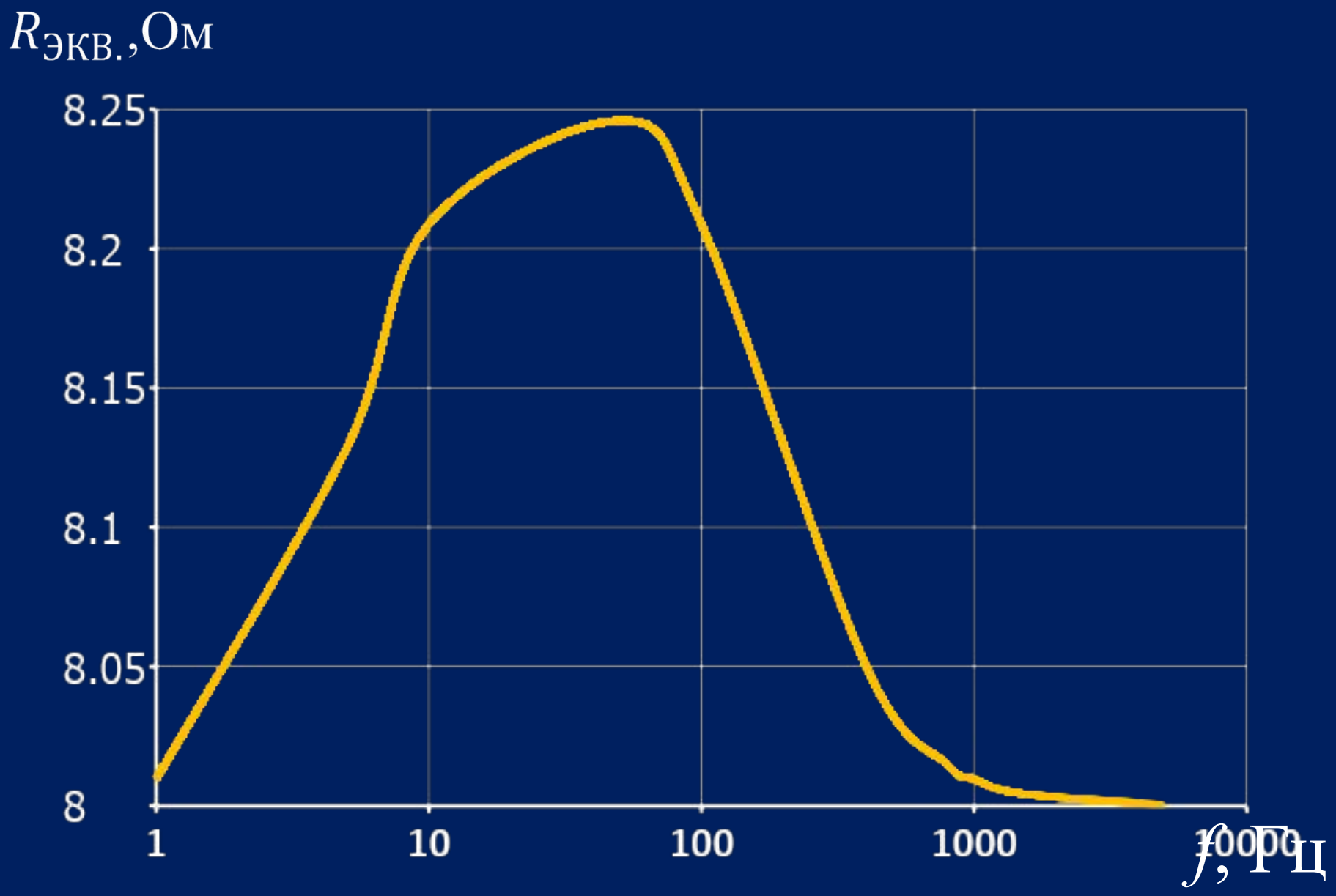
Буква "E" должна быть введена при установке клавиатуры на **английский язык**

Если конденсатор отсутствует, т.е. его параметр обозначен «-», то следует ввести значение ёмкости конденсатора **1E+20**, что соответствует значению

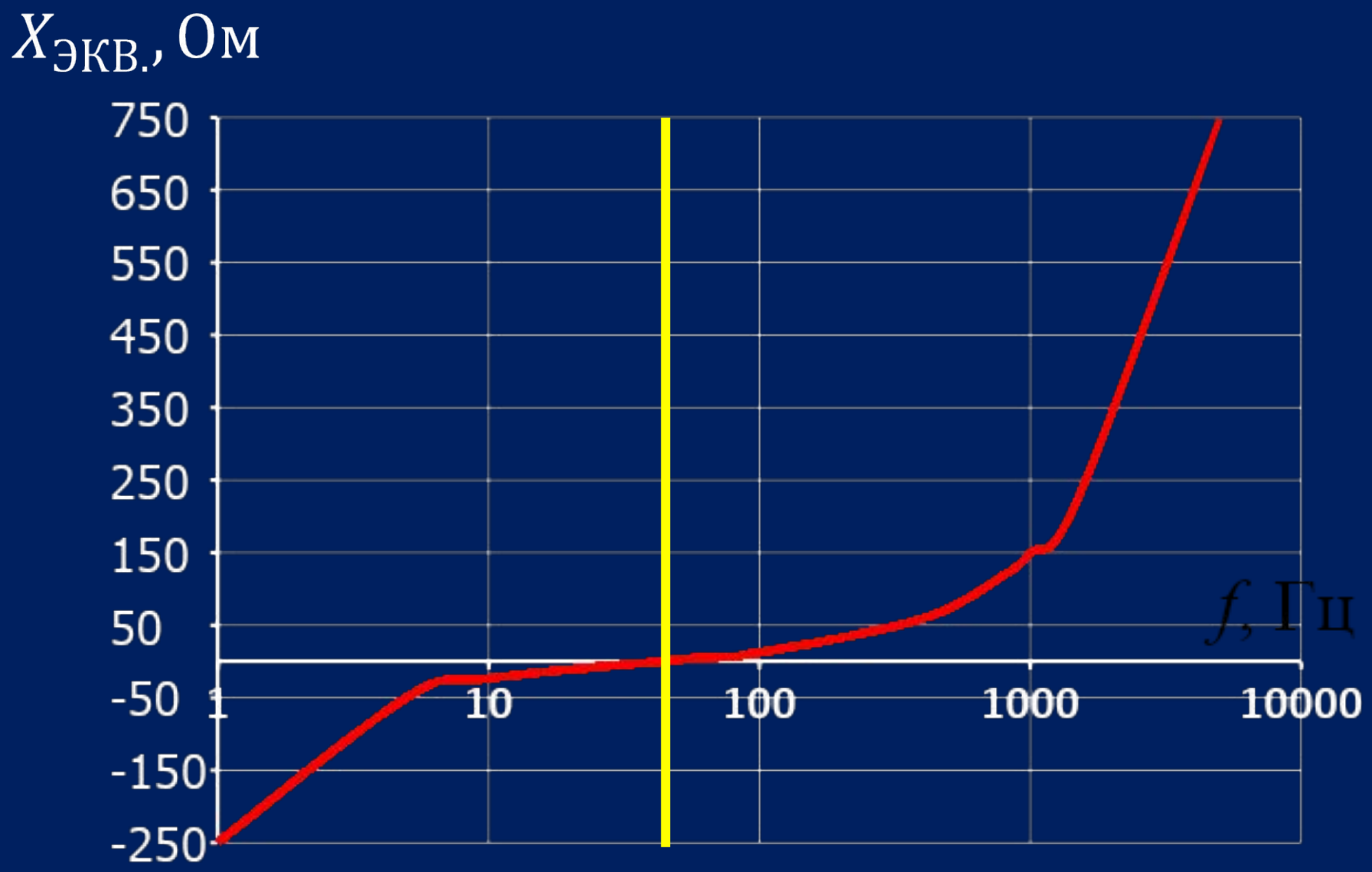
10^{20} фарад

Частота	Входное сопротивление			
f, Гц			модуль	сдвиг фаз
1	8,010	-249,8	0,4001	-88,2
5	8,128	-49,12	2,008	-80,6
10	8,209	-23,41	4,031	-70,7
50	**8,247**	**2,448**	**11,62**	**16,5**
100	8,209	12,37	6,737	56,4
400	8,050	59,12	1,676	82,3
800	8,015	119,3	0,8362	86,2
1000	8,010	149,3	0,6687	86,9
1500	8,004	224,2	0,4457	88,0
5000	8,000	748,0	0,1337	89,4

Частотная характеристика $R_{\text{экв.}}(f)$

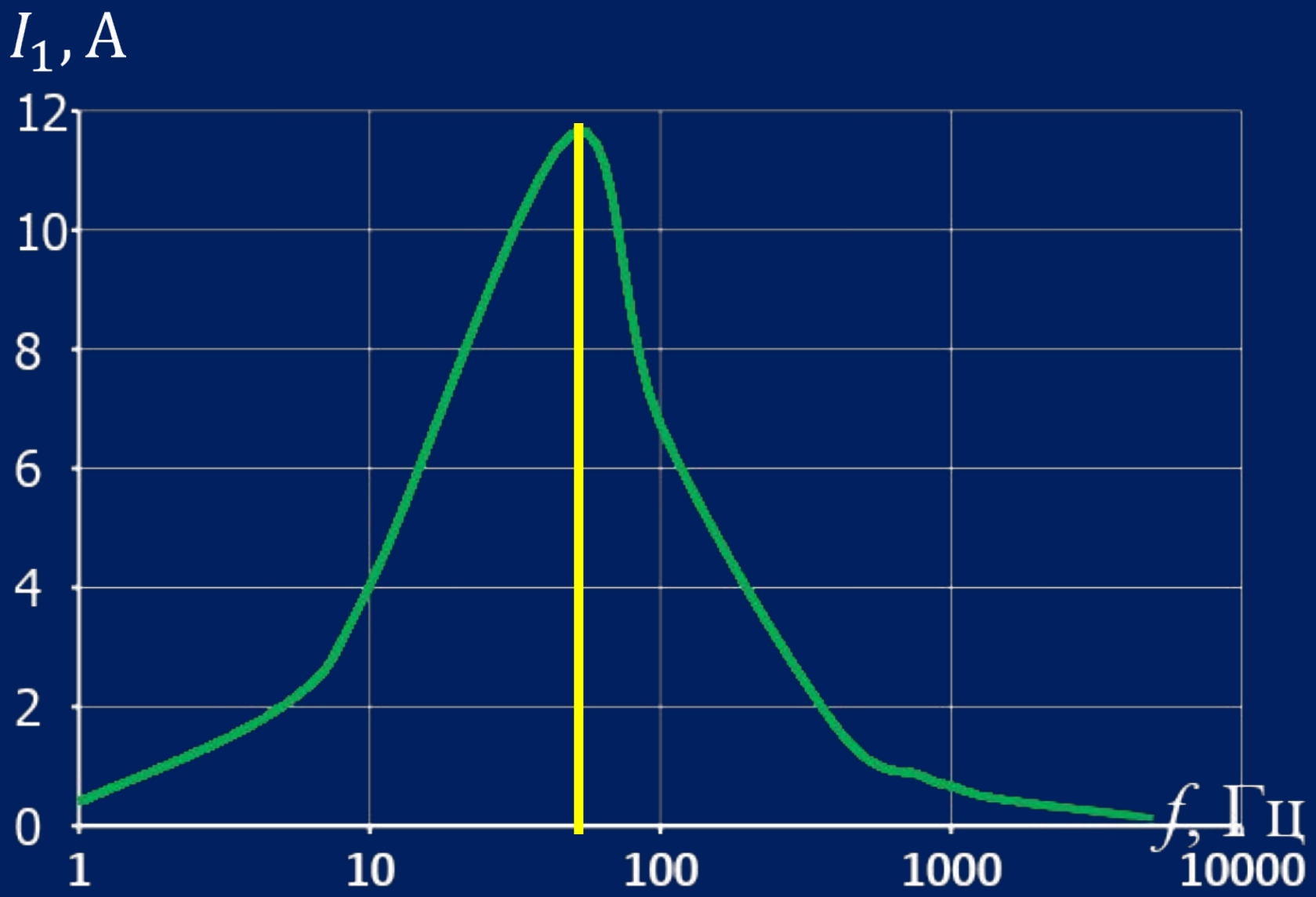


Частотная характеристика $X_{\text{экв.}}(f)$



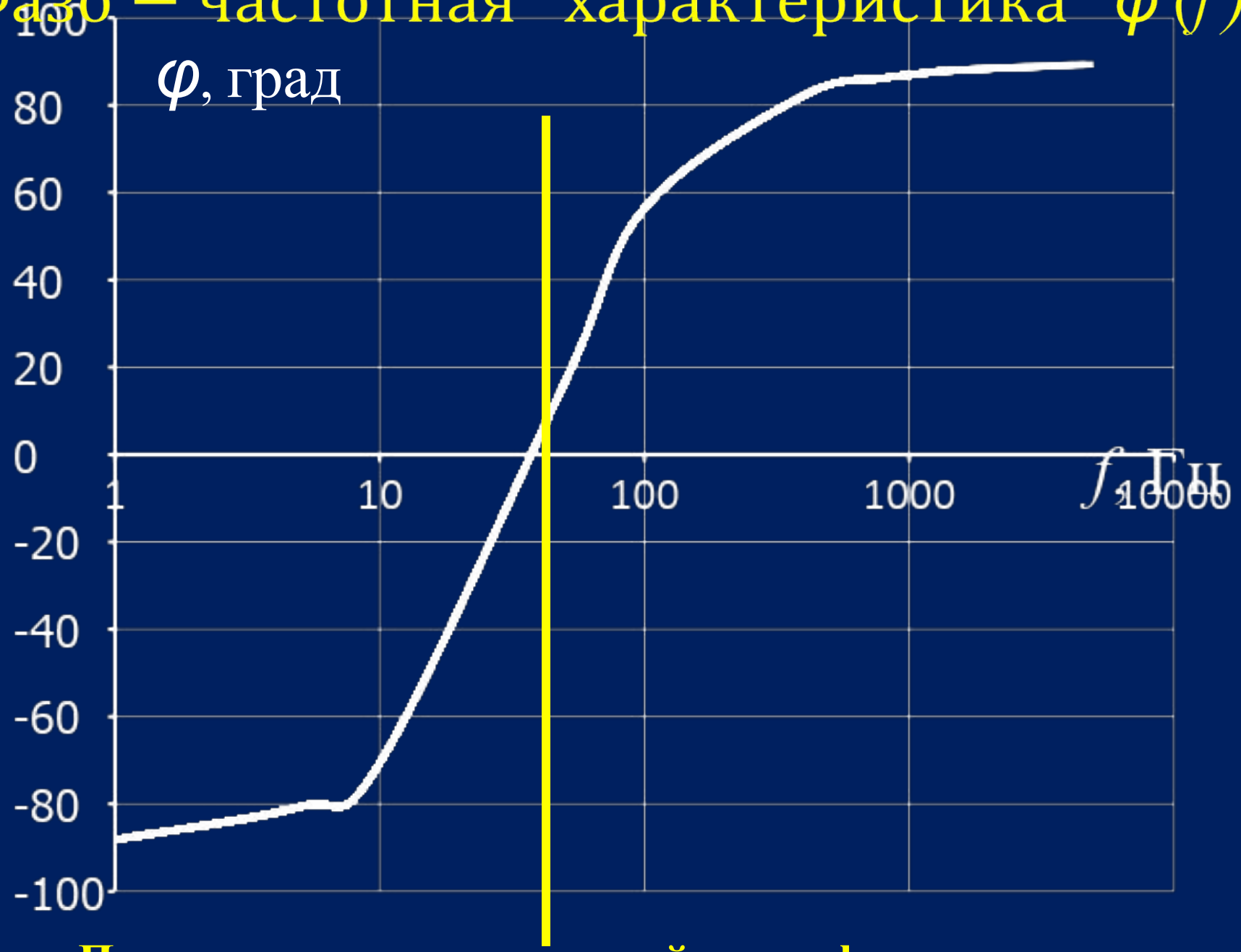
При $X_{\text{экв.}} = 0$ наблюдается резонанс напряжений

Амплитудно – частотная характеристика $I_1(f)$



При резонансе напряжений входной ток максимальный

Фазо – частотная характеристика $\varphi(f)$



При резонансе напряжений сдвиг фаз равен нулю

5. Результаты расчетов занести в таблицу ответов на титульном листе

Т а б л и ц а ответов

Параметр	I_1 А	I_2 А	I_3 А	I_4 А	I_5 А	$P_{ист.}$ Вт	$Q_{ист.}$ Вар	δ_P, %	δ_Q, %
Значе	11,62	8,672	2,973	2,885	0,7249	1114	330	0,04	0,33