

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:47:59

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению расчетного-графической работы

по дисциплине «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Общие указания

Данная расчётно-графическая работа предусматривает решение трёх задач: расчёт трёхфазной электрической цепи при несимметричной нагрузке, расчёт линейной электрической цепи при действии несинусоидальной периодической Э.Д.С., расчёт переходного процесса в линейной электрической цепи. Номер варианта задания определяется двумя последними цифрами номера зачётной книжки: вторая цифра варианта равна последней цифре номера зачётной книжки, первая цифра варианта равна предпоследней цифре номера зачётной книжки, если она не более 2, а если она от 3 до 5, то от нее следует отнять 3, если от 6 до 8 – отнять 6, если равна 9 – отнять 9.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4. Вычисления должны сопровождаться краткими пояснениями. Схемы, векторные диаграммы и графики должны быть выполнены с использованием чертёжных инструментов. Диаграммы и графики необходимо выполнить на миллиметровой бумаге с указанием принятых масштабов тока, напряжения и времени. Перед решением каждой задачи должно быть записано её условие.

Указания к решению задачи №1.

Решение задачи заключается в определении действующих значений и фаз линейных токов, а также тока нейтрального провода, а при его отсутствии - в определении напряжения смещения нейтрали и определении фазных напряжений на нагрузке. Задачу следует решать с использованием метода узлового напряжения. Необходимо построить векторные диаграммы токов и напряжений при наличии нейтрального провода и при его отсутствии.

Линейные токи, которые при соединении нагрузки звездой равны фазным, вычисляют в соответствии с законом Ома:

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a} = \frac{U_\phi}{(r_a + jx_a)}; \quad I_b = \frac{U_b}{Z_b} = \frac{U_\phi \dot{a}^{-j120^\circ}}{(r_b + jx_b)}; \quad I_c = \frac{U_c}{Z_c} = \frac{U_\phi \dot{a}^{j120^\circ}}{(r_c + jx_c)};$$

Ток нейтрального провода, в соответствии с первым законом Кирхгофа

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

При отсутствии нейтрального провода напряжение смещения нейтрали

$$\overset{\circ}{U}_{00} = \frac{U_A Y_a + U_B Y_b + U_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c},$$

где: $Y_a = \frac{1}{Z_a} = \frac{r_a}{r_a^2 + x_a^2} - \frac{jx_a}{r_a^2 + x_a^2}$

$$Y_b = \frac{1}{Z_b} = \frac{r_b}{r_b^2 + x_b^2} - \frac{jx_b}{r_b^2 + x_b^2}$$

$$Y_c = \frac{1}{Z_c} = \frac{r_c}{r_c^2 + x_c^2} - \frac{jx_c}{r_c^2 + x_c^2} \text{ – проводимости фаз нагрузки,}$$

U_A, U_B, U_C - фазные напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Фазные напряжения на нагрузке равны разности фазных напряжений на трансформаторе и напряжения смещения нейтрали

$$U_a = U_A - U_{00}, U_b = U_B - U_{00}, U_c = U_C - U_{00},$$

Указания к решению задачи №2.

Любая периодическая несинусоидальная функция может быть представлена в общем случае постоянной составляющей и суммой синусоидальных функций, имеющих частоты, кратные частоте несинусоидальной функции:

$$f(\omega t) = A_0 + A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t + A_2 \sin 2\omega t + B_2 \cos 2\omega t + \dots A_k \sin k\omega t + B_k \cos k\omega t + \dots$$

где: A_0 - постоянная составляющая,

$$A_0 = \frac{1}{(2\pi) \int_0^{2\pi} f(\omega t) d\omega t}$$

A_i, B_i коэффициенты разложения в ряд Фурье, которые определяются по формулам:

$$A_k = \frac{1}{\pi \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin k\omega t d\omega t}, B_k = \frac{1}{\pi \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos k\omega t d\omega t}$$

Обычно эти коэффициенты находят графо-аналитическим методом, разбивая период функции $f(\omega t)$ на n равных интервалов.

$$A_0 = \frac{1}{n \sum f(\omega t)}, A_k = \frac{2}{n \sum_{i=1}^n f(\omega t_i) \sin k\omega t_i}, B_k = \frac{2}{n \sum_{i=1}^n f(\omega t_i) \cos k\omega t_i},$$

Разложение несинусоидальной функции в ряд Фурье может быть представлено иначе:

$$f(\omega t) = A_0 + C_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + C_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots C_k \sin(k\omega t + \varphi_k) + \dots,$$

$$\text{где: } C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}, \varphi_k = \arctg \frac{B_k}{A_k}$$

Составляющую $C_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ называют первой или основной гармоникой, остальные составляющие - высшими гармониками.

В задаче данной контрольной работы функция Э.Д.С. $e(\omega t)$ представлена в виде таблицы ординат с интервалом фазы $\omega t = 10^\circ$ за полпериода, и т.к. функция симметрична относительно оси абсцисс, то суммирование достаточно проводить на интервале от 0 до π . Кроме того известно, что для функций, симметричных относительно оси абсцисс, чётные гармоники отсутствуют, поэтому в задаче требуется найти первую, третью и пятую гармоники.

Расчёт режима линейной электрической цепи при действии периодической несинусоидальной Э.Д.С. проводят для каждой гармоники отдельно, при этом необходимо учитывать, что реактивные сопротивления для разных гармоник будут разными:

$$X_{lk} = Lk\omega, X_{ck} = \frac{1}{kC\omega}.$$

Действующее значение тока

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots}$$

где: I_0 - постоянная составляющая тока,
 I_k - действующие значения гармоник токов.

Мощность электрической цепи

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k$$

где: $P_0 = U_0 I_0$ – мощность постоянной составляющей,
 $P_k = U_k I_k \cos \varphi_k$ – мощность k -той гармоники,
 $U_k I_k$ – напряжение и ток k -той гармоники,
 φ_k – угол фазового сдвига между током и напряжением k -той гармоники (следует иметь ввиду, что для каждой гармоники эти углы будут разными по величине, они могут отличаться также и по знаку).

Указания к решению задачи №3.

Во всех вариантах расчёт переходного процесса выполняется при нулевых начальных условиях (напряжение на ёмкости и ток через индуктивность в первый момент времени после коммутации равны нулю).

Для решения задачи необходимо составить систему уравнений, используя законы Кирхгофа, при этом напряжения на индуктивности и на ёмкости выразить через токи. Например, если сопротивление R , индуктивность L и ёмкость C включены последовательно и по ним протекает ток i , то напряжение на этом участке цепи в любой момент времени

$$u = iR + L \frac{di}{dt} + \int i dt.$$

Полученную систему уравнений следует затем записать в операторной форме. Записанное выше уравнение будет иметь вид:

$$U(p) = i(p) \left[R + Lp + \frac{1}{Cp} \right]$$

Здесь $U(p)$ и $i(p)$ - изображения напряжения и тока, p - оператор преобразования.

Записанную в операторной форме систему уравнений необходимо решить относительно изображений токов известными в алгебре методами. Изображения токов будут иметь вид:

$$i(p) = \frac{(b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m)}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n} = \frac{N(p)}{M(p)}$$

где: a_i и b_i — некоторые постоянные коэффициенты.

Для нахождения токов, как функций времени, необходимо воспользоваться формулой разложения:

$$i(t) = \frac{N(0)}{M(0)} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{N(p_i)}{p_i(pM_i)} \right] e^{p_i t}$$

где: $N(0)/M(0)$ - вынужденная составляющая тока,
 P_i - корни характеристического уравнения $M(p)=0$

$$(\delta M_i) = \frac{dM(p)}{dp} \Big|_{\delta = \delta_i}$$

Во всех вариантах данной задачи $n=2$, $m<2$, т.е. характеристическое уравнение имеет вторую степень.

Для всех токов и напряжений необходимо построить графики переходных процессов.

Задача №1

К трёхфазному трансформатору, вторичная обмотка которого соединена по схеме «звезда», подключена несимметричная нагрузка по такой же схеме. Задана величина фазного напряжения U_ϕ на зажимах вторичной обмотки трансформатора и сопротивления нагрузки

$$Z_a = r_a + jx_a, Z_b = r_b + jx_b, Z_c = r_c + jx_c.$$

Необходимо найти линейные токи и ток нейтрального провода. При отсутствии нейтрального провода найти напряжение смещения нейтрали и напряжения на каждой фазе нагрузки. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для схем с нейтральным проводом и без него. Значения U_ϕ и сопротивлений нагрузки представлены в таблице 1.

Таблица 1.

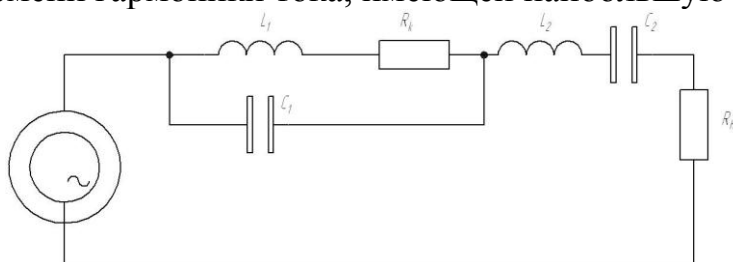
№ варианта	U_ϕ , В	r_a , Ом	X_a , Ом	r_b , Ом	X_b , Ом	r_c , Ом	X_c , Ом
1	50	4	-5	8	-10	4	12
2	220	12	20	20	12	25	15
3	110	15	-8	18	10	14	-15
4	100	20	15	8	-12	7	30
5	200	4	-20	15	8	12	7
6	50	16	-4	20	-15	8	12
7	110	25	16	4	20	15	-8
8	220	10	25	16	-4	20	-15
9	100	12	-10	25	16	4	-20
10	200	18	12	10	-25	16	4
11	50	4	-18	12	10	25	-16
12	110	12	16	18	-12	10	25
13	220	25	30	25	-18	12	10
14	100	8	-25	12	15	18	12
15	200	20	-25	30	25	12	-10
16	6	2	-2	4	4	6	-3
17	12	4	8	6	-5	8	12
18	15	6	4	8	5	10	-5
19	24	6	-3	4	3	2	15
20	48	12	12	8	-8	6	6
21	60	9	0	15	-10	6	10

22	6	6	-2	4	8	2	0
23	12	8	-5	6	-2	3	8
24	24	10	12	15	6	8	-10
25	48	15	0	10	-2	25	20
26	60	18	15	15	-6	18	12
27	120	25	22	40	25	15	-15
28	6	3	2	10	-6	6	4
29	12	14	7	16	-9	25	20
30	15	2	1	20	20	10	-10

Задача №2

В электрической цепи, представленной на рис.1, действует несинусоидальная э.д.с. Значения частоты первой гармоники и параметры элементов электрической цепи сведены в таблицу 2. Кривая изменения э.д.с., симметричная относительно оси абсцисс, представлена в таблице 3 ордина интервалом фазы 10° в пределах от 0° до 180° . В электрической цепи имеется сопротивление нагрузки R_H и фильтр, состоящий либо из параллельно включённых конденсатора C_1 и катушки индуктивности с параметрами L_1 и R_k , либо из последовательно включённых конденсатора C_2 и катушки индуктивности с параметрами L_2 и R_k .

Требуется разложить несинусоидальную э.д.с. на гармонические составляющие, для каждой гармоники определить величину и фазу тока в цепи нагрузки, действующее значение тока и мощность в цепи нагрузки. Построить графики изменения во времени э.д.с. и её отдельных гармоник, а также график изменения во времени гармоники тока, имеющей наибольшую амплитуду.



№ варианта	r_H , Ом	r_k , Ом	L_1 , Гн	C_1 , мкФ	L_2 , Гн	C_2 , мкФ	f , Гц
1	200	10	-	-	0,507	20	50
2	100	5	-	-	0,078	10	60
3	150	5	0,0563	20	-	-	100
4	500	10	0,0125	10	-	-	150
5	200	2	-	-	0,633	1	200
6	300	4	-	-	0,09	0,5	250
7	140	10	0,281	1	-	-	300
8	400	6	0,0625	0,5	-	-	350
9	300	3	-	-	0,158	1	400
10	500	10	-	-	0,225	5	50
11	250	5	0,352	20	-	-	60

12	240	8	0,5	1	-	-	75
13	260	6	-	-	1,268	2	100
14	350	7	-	-	0,391	0,5	120
15	180	5	1,127	1	-	-	150
16	320	6	0,141	0,5	-	-	200
17	520	4	-	-	0,811	0,5	250
18	360	10	-	-	0,0313	1	300
19	600	5	0,414	0,5	-	-	350
20	100	7	0,0176	1	-	-	400
21	50	8	-	-	1,014	10	50
22	600	10	-	-	0,156	5	60
23	70	4	0,451	10	-	-	75
24	120	3	0,0563	5	-	-	100
25	25	1	-	-	0,352	5	120
26	130	6	-	-	0,0352	2	200
27	540	7	0,203	2	-	-	250
28	720	10	0,0625	0,5	-	-	300
29	580	4	-	-	0,207	1	350
30	150	8	-	-	0,088	0,2	400

Таблица 3

ω° вар	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	по	120	130	140	150	160	170
1	0	4,22	8,32	11,5	13,4	13,6	12,3	9,96	7,37	5,18	3,89	3,71	4,48	5,74	6,81	7,07	6,05	3,6
2	0	7,22	12,1	14,1	13,6	11,5	9,00	7,40	7,80	10,4	14,7	19,9	24,5	27,1	26,7	23,1	16,6	8,45
3	0	78,7	140	169	159	112	42,6	-	-	-	-	-	4,50	74,1	127	147	129	75,7
4	0	101	172	197	169	99	6	-83	-	-	-	-	57	150	212	226	187	105
5	0	12,7	26,5	39,5	50	56	58	55,5	50	43	36	30	26,8	24,8	23,5	21,5	17,4	10,2
6	0	18,2	28,6	30,8	26,8	19,9	14,5	13,9	20,2	33,1	50,5	68,2	81,9	87,8	83,7	69,8	48,4	23,6
7	0	15	31,7	48,3	62,5	72,8	77,9	77,8	73,3	65,7	56,9	48,5	41,5	36	31,7	27,2	21	12,1
8	0	20,3	47,4	76,3	101	117	120	110	89	62,2	35,2	13,2	0	-3,7	0	7	12,2	10,8
9	0	18	28,3	31,7	31	30	32,4	40,4	54,3	72,6	91,8	108	116	114	102	79,9	52,7	24,6
10	0	26,4	53,9	78,8	97,9	109	111	106	96,1	83,9	72,7	64,3	59,2	56,5	53,9	48,8	38,7	22,3
11	0	166	278	312	262	146	0	-	-	-	-	0	165	312	401	407	327	179
12	0	28	60,5	93,2	121	140	147	142	128	108	86	67,2	53,8	46,1	42,4	39,6	33,2	20,6
13	0	33,1	69	103	130	146	151	144	130	111	93,5	79	69,6	64,4	61	55,8	45,1	26,7
14	0	42,5	66,7	71,9	62,5	46,5	33,7	32,4	47,1	77,4	118	159	191	205	195	163	113	55
15	0	26	45,1	58,3	68	77,3	88,8	104	122	141	157	167	167	156	134	103	68	32,2
16	0	43,8	93,8	142	180	202	206	191	163	129	96,6	71,7	57,6	53,5	55,2	56,3	50,3	32
17	0	45,3	74,9	88	87,9	81,4	76,2	79,1	94	120	153	185	208	214	200	164	114	55,7
18	0	119	231	310	341	319	252	161	69	0	-30	-16	32,6	98	155	183	166	102
19	0	47,4	105	163	212	244	252	238	205	161	117	80,6	57	47,4	47,6	50,4	47,6	32
20	0	41	69,4	85,8	94	99	107	122	144	172	200	222	232	225	199	158	106	51
21	0	82,5	169	244	293	307	287	239	177	116	70,6	48,6	50,6	70	94	108	100	64
22	0	30	33,6	19,4	0	-	0	36,5	97	171	245	302	330	322	278	210	130	55,8

23	0	51,3	89	112	124	130	136	148	167	193	221	244	256	250	225	181	124	61
24	0	366	681	865	872	703	402	48	-	-	-	-	-	191	443	571	532	326
25	0	75	130	161	168	161	148	141	148	171	206	246	278	292	278	236	168	85,5
26	0	45	84	116	143	167	190	213	235	253	265	268	258	236	200	155	104	51
27	0	54	114	173	225	265	288	293	283	261	232	202	175	151	130	108	81	45,3
28	0	57,4	97,2	120	131	139	150	170	201	240	280	311	325	314	279	221	148	71,2
29	0	90	188	278	345	378	373	336	278	213	157	120	104	107	118	123	109	69
30	0	96,5	161	188	184	160	134	123	137	179	242	311	367	395	380	323	229	115

Задача №3

Выполнить расчёт переходного процесса в электрической цепи (рис. 1,2,3) при подключении её к источнику постоянного напряжения. Рассчитать и построить графики изменения во времени токов в ветвях и напряжений на ёмкости и индуктивности. Задачу решить операторным методом. Варианты задачи представлены в таблице 5.

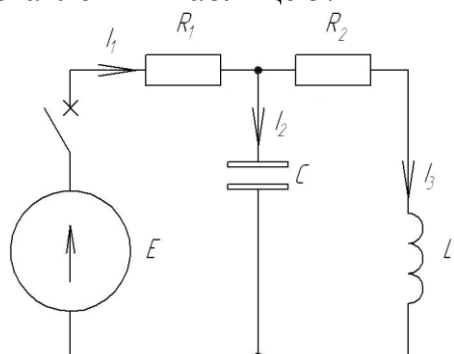


Рис. № 1

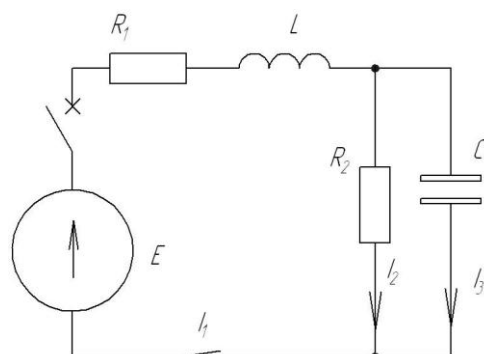


Рис. № 2

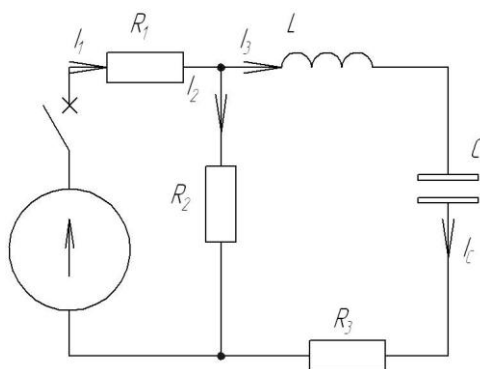


Рис. № 3

Таблица 5.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ рис.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
№ вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ рис.	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
№ вар.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
№ рис.	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E, B	10	50	100	15	20	9	24	15	100	15
$R_1, k\Omega$	0,5	0,2	1	0,5	0,2	0,1	0,5	2	5	1

$R_2, k\Omega$	2	1	2	1	0,5	0,2	0,5	3	5	1
$C, \mu K\Phi$	100	10	20	5	10	1	0,5	50	1	0,2
$L, \Gamma H$	0,5	20	5	10	10	5	2	20	0,5	2
$R_3, k\Omega$	0	3,346	0,452	3,131	2,315	15,568	6,363	0,127	0	10

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, М., «Юрайт», 2013.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Сборник задач, М., «Юрайт», 2016.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Общая электротехника. – М.: «Энергоиздат», 2002.

