

6. Расчет ν_k .

7. Расчет M_k $M_k = 10^{-4} \ln \left(1 + \frac{6 \cdot 10^8}{a^2 \sigma f} \right)$.

8. Расчет $|I_k|$.

9. Расчет напряжения шума от каждой заданной гармоники.

10. Расчет результирующего напряжения шума.

11. Сравнение результирующего напряжения шума с заданным значением и корректировка C_4 .

12. Повторение расчетов (п. 2, 6, 9 и 10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов М. И. и др. Электромагнитные влияния на сооружения связи. М.: Связь, 1979.
2. Справочник по электроснабжению железных дорог / Под ред. К. Г. Марквардта. М.: Транспорт, 1980. Т. 1.
3. Нейман Л. Г., Демирчан К. С. Теоретические основы электротехники. М.: Энергия, 1974.
4. Шаров В. И. Влияние электрических железных дорог на смежные линии связи. Методические указания для студентов V курса и дипломников. М.: ВЗИИТ, 1985. Ч. 1.
5. Шаров В. И. Влияние электрических железных дорог на смежные линии связи. Методические указания для студентов V—VI курсов и дипломников. М.: ВЗИИТ, 1986. Ч. 2.
6. Дьяконов В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М.: Наука, 1985.

Доц. В. И. ШАРОВ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Задание на курсовой проект

Редактор Л. В. Степанова
Техн. редактор Н. Н. Соловьева
Корректор Т. Д. Венедиктова

Сдано в набор 16.01.1988. Подписано в печать 31.05.1988. Тираж 2000.
Гарнитура литературная. Печать высокая. Формат 60×90^{1/16}.
Печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 1. Тип. зак. 189. Изд. зак. 457. Бесплатно.

Редакционно-издат. отдел, типография ВЗИИТа,
125808, Москва, ГСП-47, Часовая ул., 22/2

МПС СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Одобрено кафедрой
Энергоснабжения электрических
железных дорог

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов V курса

специальности

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

специализации

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ



Москва — 1988

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Содержанием курсового проекта является расчет сглаживающего устройства на тяговой подстанции постоянного тока и определение мешающих влияний электрической железной дороги с напряжением 3 кВ в тяговой сети на смежную воздушную линию связи.

В проекте допускаются некоторые упрощения по исходным данным и расчетам: рассматривается однопутный участок электрифицированной железной дороги, состоящий из одной фидерной зоны двухстороннего питания при неизменной нагрузке смежных тяговых подстанций и постоянной ширине сближения, концы линии связи совпадают с расположением тяговых подстанций, упрощены расчеты при определении мешающих влияний.

ЗАДАНИЕ

Для участка железной дороги, электрифицированного на постоянном токе с напряжением 3 кВ в тяговой сети, определить параметры параллельных ветвей сглаживающего устройства исходя из того, что результирующее мешающее влияние на смежную линию связи заданных гармонических составляющих напряжения на шинах тяговых подстанций не должно превышать указанного в задании значения.

Исходные данные

1. Расчетная схема для определения влияния тяговой сети на смежную линию связи приведена на рис. 1.

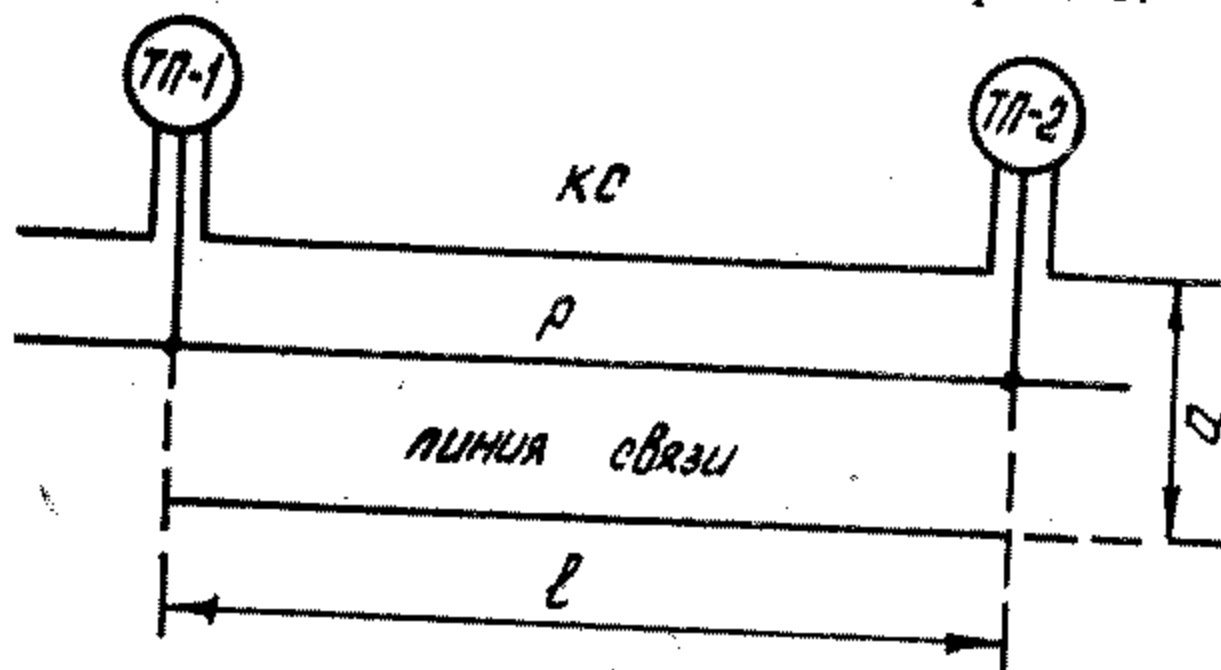


Рис. 1

Принципиальная схема сглаживающего устройства, отдельные параметры которого (L_1 ; L_2 ; L_3 и C_4) подлежат определению приведена на рис. 2.

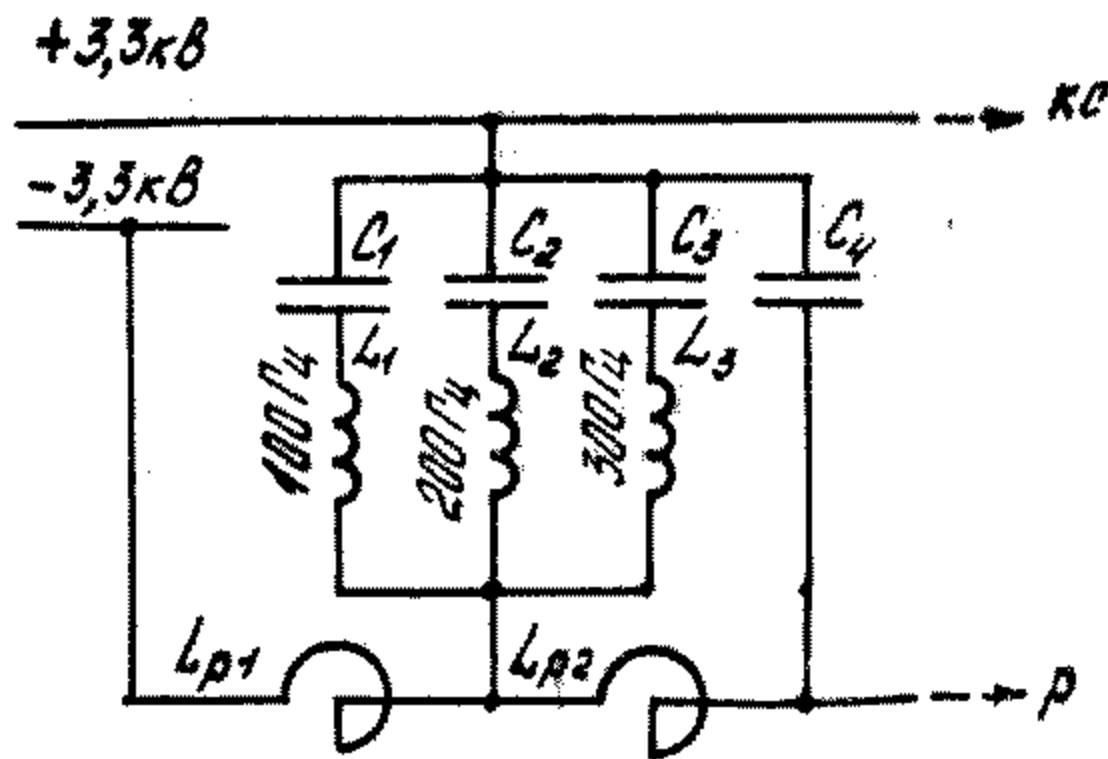


Рис. 2

2. Сглаживающие устройства на обеих подстанциях принимаются одинаковыми. Значения отдельных параметров (C_1 ; C_2 ; C_3 ; L_{p1} и L_{p2}) сглаживающего устройства берутся из табл. 1 и 2 в соответствии с последней и предпоследней цифрами шифра. При этом значения индуктивностей даны в мГн, а емкостей — в мкФ. В табл. 1 приведены также номера K заданных гармонических составляющих выпрямленного напряжения на шинах.

Таблица 1

Данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C1$	140	120	150	144	140	130	125	150	135	155
$C2$	100	90	100	96	90	95	85	90	900	100
$C3$	90	90	100	96	90	85	90	85	80	100
K	6	4	2	6	4	6	4	2	6	4
	12	16	8	8	12	16	12	16	12	16
	24	20	20	18	20	24	20	18	20	24

Примечание. Активное сопротивление каждой ветви следует принять 0,2 Ом.

Значения векторов гармонических составляющих выпрямленного напряжения на шинах тяговых подстанций приведены в табл. 2 (модуль напряжения, B — в числителе; начальная фаза, эл. градусы — в знаменателе).

Из табл. 2 следует брать только те гармонические составляющие, номера которых заданы табл. 1.

Таблица 2

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_{p1}	4,5	5	11	5	11	4,5	5	11	5	11
L_{p2}	4,5	3	3	4,5	5	3	5	4,5	3	3
K	Векторы гармонических составляющих на шинах ТП-1									
2	45	47	50	50	47	52	52	49	50	46
	270	265	260	260	265	255	255	262	260	270
4	22	28	31	31	28	32	32	30	31	25
	265	250	240	240	250	225	245	245	240	260
6	171	212	214	214	212	209	209	217	214	194
	255	240	185	185	240	150	150	210	185	250
8	13	15	15	15	15	18	18	15	15	14
	250	230	120	120	230	80	80	160	120	235
12	50	54	107	107	54	133	133	74	107	53
	235	100	-25	-25	100	-70	-70	40	-25	190
16	7	11	19	19	11	18	18	16	19	7
	200	35	-120	-120	35	-200	-200	55	-120	130
18	22	47	63	63	47	67	67	63	63	29
	180	-25	-170	-170	-25	-270	-270	100	-70	90
20	6	16	19	19	16	24	24	19	19	10
	165	-50	-240	-240	-50	-350	-350	135	-240	50
24	13	34	47	47	34	54	54	34	47	25
	100	-120	-20	-20	-120	-120	-120	240	-20	-20

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К	Векторы гармонических составляющих на шинах ТП-2									
2	43 275	45 270	46 270	47 265	46 270	47 265	46 270	45 270	45 270	43 275
4	21 265	22 265	25 260	28 250	25 260	28 250	25 260	22 265	22 265	21 265
6	153 255	171 255	194 250	212 240	194 250	212 240	194 250	171 255	171 255	153 255
8	11 250	13 250	14 235	15 230	14 235	15 230	14 235	13 250	13 250	11 250
12	42 235	50 235	53 190	54 100	53 190	54 100	53 190	50 235	50 235	42 235
16	6 250	7 200	7 130	11 35	7 130	11 35	7 130	7 200	7 200	6 250
18	20 245	22 180	29 90	47 -25	29 90	47 -25	29 90	22 180	22 180	20 245
20	5 240	6 165	10 50	16 -50	10 50	16 -50	10 50	6 165	6 165	5 240
24	12 230	13 100	25 -20	34 -120	25 -20	34 -120	25 -20	13 100	13 100	12 230

Примечание. Активное сопротивление реакторов следует принять равным нулю.

Значения результирующего допустимого напряжения шума $U_{ш}$, создаваемого в линии связи заданными гармоническими составляющими, ширина сближения a , длина фидерной зоны l и проводимость земли σ берутся из табл. 3 в соответствии с цифрой шифра, означающей сотни.

Таблица 3

Исходные данные	Цифра шифра, означающая сотни									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{ш}$, мВ	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
a , м	10	15	20	25	30	35	40	20	25	30
l , км	15	18	22	25	20	15	18	20	22	25
σ , См/м	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$

Остальные данные являются общими для всех вариантов: число путей — 1; подвеска — М120+2МФ100; тип линии связи — воздушная со стальными проводами диаметром 5 мм на траверсах.

В табл. 4 приведены в зависимости от частоты значения акустического коэффициента ρ , чувствительности линии связи к помехам η , постоянная распространения однопроводной линии связи $\gamma_c = \alpha_c + j\beta_c$, волновое сопротивление тяговой сети $Z_{в}$ и постоянная распространения тяговой сети $\gamma_r = \alpha_r + j\beta_r$.

Таблица 4

К	2	4	6	8	12	16	18	20	24
f , Гц	100	200	300	400	600	800	900	1000	1200
ρ	0,008	0,089	0,295	0,484	0,794	1,00	1,07	1,12	1,00
$\eta \cdot 10^3$	2,65	3,0	3,35	3,65	4,35	4,95	5,25	5,65	6,3
α_c , мНеп/км	3,64	4,61	5,55	6,47	8,2	9,87	10,6	11,4	12,9
β_c , мрад/км	4,75	8,68	12,5	16,9	23,3	30,2	33,3	36	42,8
$Z_{в}$, Ом/км	242	239	237	235	231	228	227	226	224
α_r , мНеп/км	0,8	0,96	1,11	1,27	1,57	1,86	2,0	2,15	2,44
β_r , мрад/км	2,88	5,76	8,64	11,5	17,3	23	26	28,8	34,5

Экранирующий коэффициент рельсов зависит от проводимости земли и для однопутного участка может быть принят:

при $\sigma = 10^{-3} \div 10^{-2} \text{ См/м}$ — 0,45÷0,5;

при $\sigma = 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-2} \text{ См/м}$ — 0,5÷0,55.

При других значениях проводимости земли экранирующий коэффициент рельсов может быть определен интерполяцией.

Оформление проекта

Все буквенные и условные графические обозначения на чертежах должны полностью соответствовать действующим ГОСТам.

Проект должен состоять из пояснительной записки с расчетами и следующих чертежей:

1. Расчетная схема для определения мешающих влияний на смежную линию связи.
2. Принципиальная схема сглаживающего устройства с указанием ее параметров.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Электрические железные дороги могут оказывать на линии проводной связи магнитное, электрическое и гальваническое влияние.

Магнитное влияние вызывается прохождением по тяговой сети переменного тока. Магнитному влиянию подвержены все проводные линии связи, как воздушные, так и кабельные.

Электрическое влияние обусловлено наличием в тяговой сети переменного напряжения. Ему подвержены воздушные линии и воздушные линии, выполненные кабелем без металлической оболочки.

Гальваническое влияние вызывается протеканием в земле тяговых токов. Гальваническому влиянию подвержены заземленные оболочки кабелей и цепи, использующие в качестве обратного провода землю. Его следует учитывать при наличии хотя бы одного заземления в любой точке цепи.

По степени и характеру воздействия различают влияния опасные и мешающие.

Влияние называется опасным, если возникающие в проводах линии связи напряжения и токи создают опасность для обслуживающего персонала и абонентов или могут повредить аппараты и приборы, включенные в эти цепи.

Влияние называется мешающим, когда в каналах связи возникают помехи, нарушающие их нормальное действие.

Взаимное расположение электрифицированной железной дороги и линии связи, при котором в последней могут возникнуть опасные и мешающие напряжения, называют *сближением*.

Длиной сближения называют ту часть линии связи, которая находится в зоне влияния тяговой сети.

Шириной сближения является расстояние между осью дороги и линией связи.

Параллельным сближением называют такое взаимное расположение линии связи и электрифицированной железной дороги, при котором ширина сближения отличается от своего среднего значения не более чем на 10%. Если это условие не выполняется, то сближение называют косым.

Длина участка косого сближения равна длине проекции линии связи на ось полотна железной дороги. Ширина участка косого сближения является среднегеометрической величиной расстояний, измеренных в начале и в конце участков сближения.

РАСЧЕТ МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ НА СМЕЖНУЮ ЛИНИЮ СВЯЗИ

Общие положения

Под мешающими влияниями понимают длительно существующие помехи, возникающие в каналах связи и линиях проводного вещания, нарушающие их нормальную работу. Поэтому расчет мешающих влияний производят для нормального режима работы системы электроснабжения, когда все тяговые подстанции и тяговая сеть подключены согласно принятым схемам питания. Линия связи также принимается работающей в нормальном режиме, т. е. полностью изолированной от земли.

При выполнении данного курсового проекта считается, что концы линии связи совпадают с расположением тяговых подстанций, т. е. влияние на линию связи оказывает лишь одна фидерная зона. Поскольку напряжения шума $U_{шк}$, создаваемые отдельными гармоническими составляющими, не зависят друг от друга, то результирующее напряжение шума $U_{ш}$ находится квадратичным сложением шума от каждой гармоники

$$U_{ш} = \sqrt{\sum U_{шк}^2}. \quad (1)$$

Хотя в общем случае тяговая сеть оказывает на линию связи одновременно и магнитное и электрическое влияние,

напряжения шума обусловлены главным образом высшими гармоническими составляющими тока в тяговой сети. Поэтому при расчетах этих напряжений электрическое влияние не учитывается.

Мешающее напряжение шума K -й гармоники зависит от продольного напряжения, индуктированного в линии связи этой гармоникой влияющего тока, его частоты и степени продольной и поперечной несимметрии проводов линии связи.

Напряжения равной амплитуды, но различной частоты из-за особенностей человеческого слуха создают в линиях связи неодинаковые помехи. Поэтому индуктированные разными гармониками влияющего тока напряжения приводят к напряжению базовой частоты, в качестве которой выбрана частота 800 Гц. Такое напряжение называют психометрическим. При равных амплитудах наведенного напряжения отношение интенсивности помехи при какой-либо частоте к интенсивности ее при частоте 800 Гц называют коэффициентом акустического воздействия p .

В двухпроводных линиях связи продольная электродвижущая сила индуктируется в обоих проводах. Вследствие того, что любая реальная линия имеет продольную и поперечную асимметрию, т. е. провода имеют неодинаковые электрические параметры по длине, в конце линии между проводами возникает результирующее напряжение помехи, которое будет тем больше, чем больше асимметрия. Поэтому качество двухпроводной линии связи оценивается коэффициентом чувствительности η от каждой гармоники с номером K . Этот коэффициент представляет собой отношение напряжения помехи к среднему значению напряжений на концах обоих проводов относительно земли.

Коэффициент чувствительности существенно зависит от типа линии связи. Кабельные линии, как наиболее симметричные, обладают заметно меньшей чувствительностью по сравнению с воздушными линиями.

С ростом частоты чувствительность к помехам линий всех типов повышается. Это объясняется тем, что с увеличением частоты возрастают индуктивное сопротивление и емкостная проводимость линии, а следовательно, и степень ее несимметрии.

Таким образом, зная наведенное в двухпроводной линии относительно земли напряжение K -й гармоники U_k и соответствующие значения коэффициентов P_k и η_k , можно определить напряжение шума, создаваемое этой гармоникой

$$U_{шк} = U_k \cdot P_k \cdot \eta_k. \tag{2}$$

Напряжение U_k , наводимое в линии связи K -й гармоникой влияющего тока при изолированной от земли линии связи, может быть определено согласно положениям, изложенным в [1, 2, 4, 5].

С учетом эффекта экранирования это напряжение в общем случае равно (мВ)

$$U_k = \nu_k \cdot \omega_k \cdot M_k \cdot I_k \cdot S_k \cdot l_s \cdot 10^3, \tag{3}$$

где ω_k — угловая частота K -й гармоники, рад/с;
 M_k — взаимная индуктивность между контактной сетью и линией связи для K -й гармоники, Гн/км;
 I_k — влияющий ток K -й гармоники, А;
 l_s — длина сближения, км;
 S_k — коэффициент экранирования, который для воздушной линии связи равен коэффициенту экранирования рельсов;

$\nu_k = \left| \frac{sh \gamma_k l_c}{sh \gamma_k l} \right|$ — коэффициент, учитывающий волновые процессы в линии связи для K -й гармоники;

$\gamma_k = \alpha_k + j\beta_k$ — постоянная распространения однопроводной цепи, подверженной влиянию для K -й гармонической составляющей.

Величина α характеризует изменение амплитуды напряжения вдоль линии, а β — изменение фазового угла. В приведенную формулу следует подставлять модули значений гиперболических функций. При этом следует помнить, что эти функции берутся от комплексного переменного. Определение гиперболического синуса от комплексного переменного может быть произведено по номограммам, приведенным в [2], либо по формуле

$$sh(\alpha l + j\beta l) = sh \alpha l \cdot \cos \beta l + j ch \alpha l \cdot \sin \beta l,$$

вычисления по которой удобно производить с использованием программируемых микрокалькуляторов. Ниже приведена программа вычисления гиперболического синуса от комплексного переменного $Z = x + jy$, составленная для микрокалькулятора БЗ-34

$$\begin{aligned} & \text{ИП8 } F e^x \uparrow F 1/x - 2 \div \text{ИП9 } F \cos \times \text{П5 ИП8} \\ & F e^x \uparrow F 1/x + 2 \div \text{ИП9 } F \sin \times \text{П6 ИП5 с/п.} \end{aligned}$$

При этом значение x заносится в память П8, а значение y — в память П9. После окончания вычислений на индикаторе высвечивается значение вещественной части, а значение мнимой части хранится в памяти П6.

Прежде чем производить вычисления, после набора программы следует произвести тестовый контроль:

$$\text{при } \underline{Z} = 3 + j2 \quad \text{sh } \underline{Z} = -4,168907 + j9,1544984.$$

Разобрав этот пример, легко самостоятельно составить программы для вычисления $\text{ch } \underline{Z}$ и $\text{th } \underline{Z}$. Перечисленные программы приведены в [6].

При коротких линиях, которые полностью укладываются в фидерную зону для низких частот, можно принять $\nu = 0,5$.

РАСЧЕТ МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ

Основным источником мешающих влияний на участках электрических железных дорог постоянного тока являются выпрямительные установки тяговых подстанций, создающие на шинах пульсирующее напряжение. Пульсация напряжения в значительной степени сглаживается фильтр-устройствами тяговых подстанций. Однако и после фильтра на выходе тяговой подстанции выпрямленное напряжение содержит гармонические составляющие. Гармоники одной и той же кратности для смежных подстанций при двухстороннем питании фидерной зоны в общем случае в связи с различной нагрузкой подстанций отличаются по амплитуде и сдвинуты друг относительно друга по фазе.

Под действием гармоник выпрямленного напряжения в контактной сети протекают переменные токи соответствующих частот. Эти токи вследствие магнитного влияния вызывают в смежной линии связи мешающее напряжение шума.

При двухстороннем питании фидерной зоны переменные токи, обусловленные векторной разностью напряжений соответствующих гармоник на выходах смежных подстанций, замыкаются через фильтр одной из подстанций, так как электровазы постоянного тока имеют значительную индуктивность. Поскольку емкость, включенная на подстанции параллельно тяговой сети, имеет большую величину, можно принять, что в этом случае тяговая сеть на конце для высших гармоник замкнута накоротко, т. е. имеет место режим короткого замыкания. Из теории работы однородной линии [3], которую представляет собой тяговая сеть, известно, что сопротивление такой линии при коротком замыкании равно

$$\underline{Z} = \underline{Z}_0 \cdot \text{th } \underline{\gamma} l,$$

где \underline{Z}_0 — волновое сопротивление линии;
 $\underline{\gamma}$ — коэффициент распространения линии;
 l — длина линии.

Расчет напряжения шума от каждой гармонической составляющей влияющего тока на отдельной фидерной зоне и результирующего напряжения шума производится точно также, как и для участков переменного тока, т. е. с использованием общих формул (1), (2) и (3).

Таким образом, для расчета мешающих влияний на участках постоянного тока необходимо определить гармоники влияющего тока.

Влияющий ток K -й гармоники при двухстороннем питании фидерной зоны можно определить из выражения

$$I_K = \left| \frac{\dot{U}_{K1} - \dot{U}_{K2}}{\underline{Z}_{\text{тск}}} \right|,$$

где $\underline{Z}_{\text{тск}}$ — входное сопротивление тяговой сети для данного случая ($\underline{Z}_{\text{тск}} = \underline{Z}_{\text{вк}} \cdot \text{th } \underline{\gamma}_{\text{тк}} l$).

\dot{U}_{K1} и \dot{U}_{K2} — векторы напряжений K -й гармоники на выходах смежных подстанций.

Вектор напряжения K -й гармоники на выходе тяговой подстанции

$$\dot{U}_K = U_{dK} \cdot e^{j\varphi_K} / k_{\text{ск}}$$

где U_{dK} — напряжение K -й гармоники на шинах тяговой подстанции (до фильтра);
 φ_K — начальная фаза K -й гармоники напряжения;
 $k_{\text{ск}}$ — коэффициент сглаживания фильтра тяговой подстанции для K -й гармоники.

Тяговые подстанции постоянного тока большей частью оборудованы шестипульсовыми выпрямителями, которые создают на шинах напряжение, содержащее наряду с постоянной составляющей и переменную. При симметричном питающем напряжении переменная составляющая содержит гармоники, кратные 300 Гц, т. е. 300, 600, 900, 1200 Гц и т. д.

Асимметрия фазовых напряжений питающей системы ведет к появлению в выпрямленном напряжении дополнительных гармоник с частотой, кратной 100 Гц, т. е. 100, 200, 400 Гц и т. д.

С увеличением нагрузки выпрямителей возрастает угол коммутации и меняются амплитуды гармоник (как правило, растут). Обычно при расчете напряжения шума на отдельной фидерной зоне двухстороннего питания нагрузку одной тяговой подстанции берут равной номинальной, а другой — половине от номинальной. (При одинаковых нагрузках векторная разность напряжений высших гармоник на выходах под-

станций и создаваемое ими напряжение шума (получаются меньше.)

Напряжения K -й гармоники на шинах смежных тяговых подстанций и ее начальные фазы приведены в табл. 2 задания, а номера гармоник, подлежащих расчету, заданы табл. 1.

Основным мероприятием по снижению мешающих влияний на участках постоянного тока является установка на всех тяговых подстанциях сглаживающих фильтров, назначение которых состоит в снижении переменных составляющих выпрямленного напряжения. Принципиальная схема заданного фильтр-устройства приведена на рис. 2. Фильтр-устройство содержит два реактора, три резонансные параллельные ветви, настроенные соответственно на 100, 200 и 300 Гц, и четвертую чисто емкостную параллельную ветвь, предназначенную для подавления гармоник более высоких порядков.

Для каждой резонансной ветви, настроенной на свою частоту, индуктивное и емкостное сопротивление на этой частоте должны быть равны, т. е. должно выполняться условие:

$$\omega_1 L_1 = \frac{1}{\omega_1 C_1}; \quad \omega_2 L_2 = \frac{1}{\omega_2 C_2}; \quad \omega_3 L_3 = \frac{1}{\omega_3 C_3},$$

где ω_1 — угловая резонансная частота первой ветви;

ω_2 — то же, второй ветви;

ω_3 — то же, третьей ветви.

Так как емкостное и индуктивное сопротивления имеют разные знаки, то на резонансной частоте результирующее сопротивление ветви равно ее активному сопротивлению (0,2 Ома по заданию). Следует отметить, что любая ветвь, настроенная на какую-либо частоту, для другой частоты представляет какое-то конечное сопротивление. С учетом этого и надо определять коэффициент сглаживания всего фильтра для какой-либо гармоники. Под коэффициентом сглаживания для K -й гармоники понимают отношение напряжения этой гармоники на входе фильтра к напряжению этой гармоники на выходе фильтра. Для разных гармоник коэффициент сглаживания будет иметь разные значения.

Для схемы фильтра, приведенной на рис. 2, коэффициент сглаживания для K -й гармоники определяется выражением

$$k_{ск} = \left(1 + \frac{Z_{p1K}}{Z_{1K}}\right) \left(1 + \frac{Z_{p2K}}{Z_{2K}}\right) + \frac{Z_{p1K}}{Z_{2K}},$$

где Z_{p1K} и Z_{p2K} — сопротивление первого и второго реакторов для K -й гармоники;

Z_{1K} — результирующее сопротивление параллельных резонансных ветвей для K -й гармоники;

Z_{2K} — сопротивление четвертой параллельной ветви для K -й гармоники.

Приведенное выражение для определения коэффициента сглаживания может быть легко выведено самостоятельно с использованием лишь законов Ома и Кирхгофа в их общем виде.

Следует отметить, что при $K=2, 4$ или 6 одна из параллельных ветвей работает в резонансе и поэтому результирующее сопротивление параллельных резонансных ветвей может быть принято $Z_1=0,2$ Ом.

При расчете этого сопротивления для других гармоник активное сопротивление параллельных ветвей можно не учитывать.

Так как сглаживающие устройства на обеих тяговых подстанциях одинаковые, то они меняют начальную фазу гармоники на одну и ту же величину. Поэтому во всех расчетах можно оперировать с модулем коэффициента сглаживания. То же самое можно сказать и в отношении волнового сопротивления тяговой сети, и ее входного сопротивления.

Так как рассматривается одна фидерная зона, то достаточно ограничиться определением модулей влияющих токов, т. е. поделить модуль векторной разницы гармонической составляющей выпрямленного напряжения на шинах тяговых подстанций на модуль коэффициента сглаживания и модуль входного сопротивления тяговой сети.

Выполняя курсовой проект, следует помнить, что основная задача проектирования — определение параметров сглаживающего устройства, в том числе значения емкости C_4 так, чтобы указанное в задании допустимое значение напряжения шума не было превышено при возможно меньшем значении C_4 .

При первом же расчете определится гармоника, оказывающая на линию связи наибольшее влияние, и создаваемое ею напряжение шума.

Это позволит довольно просто откорректировать значение C_4 и произвести повторный окончательный расчет.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

1. Расчет индуктивностей параллельных ветвей фильтра.
2. Расчет коэффициента сглаживания для заданных гармоник K (приняв предварительно $C_4=100$ мкФ).
3. Расчет векторной разности напряжений для заданных гармоник.
4. Расчет $|th \gamma_{TK}|$.
5. Расчет $|Z_{тск}|$.