

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

(ФГБОУ ВПО ПГУПС)

Кафедра «Электроснабжение железных дорог»

Заочный факультет

Каратаев В.Г., Васильев Ю.П., Агунов А.В.

**РАСЧЁТ ОПАСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЛИНИЮ
ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ**

Методические указания к контрольной работе по дисциплине
"Электромагнитная совместимость и средства защиты"

Санкт-Петербург
2013

1 Электромагнитное воздействие электрических железных дорог переменного тока

Электрифицированные железные дороги переменного тока могут оказывать на линии проводной связи магнитное, электрическое и гальваническое воздействие.

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

Электрическое воздействие обусловлено наличием в тяговой сети переменного напряжения. Электрическому воздействию подвержены воздушные линии и воздушные кабельные линии, выполненные кабелем без металлической оболочки.

Гальваническое влияние вызывается протеканием в земле тяговых токов. Гальваническому воздействию подвержены заземленные металлические оболочки кабелей и цепи, использующие в качестве обратного провода землю.

По степени и характеру различают опасное и мешающее воздействие.

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

Воздействие 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. Длинной сближения называют длину той части линии связи, которая находится в зоне влияния тяговой сети. Шириной сближения называется расстояние между осью пути и проводами линии связи.

2 Расчет опасного электромагнитного воздействия

В контрольной работе допускается некоторые упрощения по исходным данным и расчетам:

-рассматривается однопутный участок электрифицированной железной дороги, состоящий из одной фидерной зоны;

-линия связи - воздушная на деревянных опорах;

-ширина сближения постоянна по всей длине сближения (параллельное сближение);

-определяются лишь магнитное, электрическое и результирующее воздействие.

Расчет опасных напряжений производится для двух режимов работы тяговой сети: режима короткого замыкания и вынужденного режима.

Режим короткого замыкания - аварийный режим, при котором контактная сеть замыкается на землю.

Вынужденный режим - режим, при котором одна из тяговых подстанций или линейное устройство временно отключены и их нагрузку принимают смежные объекты.

2.1 Расчет опасных напряжений при магнитном воздействии

Наводимое опасное напряжение зависит от типа линии, ее длины и расположения относительно земли и железной дороги. Наибольшее

напряжение наводится на одном из концов линии при условии заземления ее на противоположном конце. Этот режим первоначально и считается расчетным.

2.1.1 Расчет опасного напряжения в режиме короткого замыкания

Для режима короткого замыкания опасное напряжение U_M , В при параллельном сближении воздушных линий вычисляют по формуле, В;

$$U_M = \omega \cdot M \cdot I_{K3} \cdot S_p \cdot l_3,$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - угловая частота влияющего тока, c^{-1} ;

f - частота влияющего тока, Гц;

M - коэффициент взаимной индуктивности между контактной сетью и линией связи, Гн/км;

I_{K3} - ток короткого замыкания в тяговой сети, А;

S_p - коэффициент экранирующего действия рельсов;

l_3 - эквивалентная длина сближения, км.

Коэффициент взаимной индуктивности M , Гн/км:

$$M = 10^{-4} \ln \left(1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \cdot \sigma \cdot f} \right),$$

где a - ширина сближения между контактной сетью и проводом связи, м;

σ - проводимость земли, См/м.

При выполнении расчетов необходимо выявить наибольшее значение опасного напряжения, для чего следует определить токи короткого замыкания от каждой из смежных подстанций. При определении расстояния до места короткого замыкания расчетными точками следует брать дальние от подстанции концы участка l_3 .

Ток короткого замыкания в тяговой сети I_{K3} , А;

$$I_{K3} = \frac{U_H \cdot 10^3}{\sqrt{\left[2 \cdot U_H^2 \cdot \left(\frac{1}{S_{K3}} + \frac{U_K \%}{100 \cdot S_H} \right) \cdot 10^3 + x_{KC} \cdot l_{K3} \right]^2 + (r_{KC} \cdot l_{K3})^2}},$$

где U_H - номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции (27,5 кВ);

S_{K3} - мощность короткого замыкания на стороне первичного напряжения тяговой подстанции, кВ·А;

S_H - мощность тяговой подстанции, кВ·А;

U_K - напряжение короткого замыкания тягового трансформатора, %;

x_{KC} - реактивное сопротивление 1 км контактной сети, Ом/км;

r_{KC} - активное сопротивление 1 км контактной сети, Ом/км;

l_{K3} - расстояние от подстанции до расчетной точки короткого замыкания, км.

Коэффициент экранирующего действия рельсов S_p в основном зависит от проводимости земли и количества путей. Для однопутного участка при $\sigma = (1 \cdot 10^{-3} \dots 10 \cdot 10^{-3})$ $S_p = 0,45 \dots 0,50$, при $\sigma = (10 \cdot 10^{-3} \dots 50 \cdot 10^{-3})$ $S_p = 0,50 \dots 0,55$.

2.1.2 Расчёт опасного напряжения в вынужденном режиме работы

При вынужденном режиме работы тяговой сети опасное напряжение U_M для заданной линии связи вычисляют по формуле, В:

$$U_M = K_{Ф} \cdot \omega \cdot M \cdot I_{ЭКВ} \cdot S_p \cdot l_3,$$

где $K_\Phi=1,15$ - коэффициент формы кривой влияющего тока, который характеризует увеличение индуктированного напряжения вследствие несинусоидальности тока тяговой сети, обусловленной работой выпрямителей электроподвижного состава;

$I_{ЭКВ}$ - эквивалентный влияющий ток при вынужденном режиме работы тяговой сети. Под эквивалентным током подразумевается ток в тяговой сети, одинаковый по всей длине сближения, который индуктирует в проводе связи такое же опасное напряжение, которое возникает при действительном распределении токов в тяговой сети.

Значение эквивалентного тока определяют из выражения, А:

$$I_{ЭКВ}=I_{РЕЗ}\cdot K_m,$$

где $I_{РЕЗ}$ - результирующий ток расчётного плеча питания при вынужденном режиме работы тяговой сети, А;

K_m - коэффициент, характеризующий уменьшение эквивалентного тока по сравнению с результирующим током.

Значение $I_{РЕЗ}$ приближённо определяется по формуле, а:

$$I_{РЕЗ}=\frac{2m}{m+1}\cdot\frac{DU_{КС.МАКС}}{(r_{КС}\cdot\cos j+x_{КС}\cdot\sin j)\cdot l_T},$$

где m - количество поездов, одновременно находящихся в пределах плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме;

$\Delta U_{КС.МАКС}$ - максимальная потеря напряжения в тяговой сети между подстанцией и наиболее и наиболее удалённым от неё электровозом. При $l_T \geq 30$ км $\Delta U_{КС.МАКС} = 6500$ В;

$\cos \phi$ - коэффициент мощности электровоза, который может быть принят равным 0,8;

l_T - длина фидерной зоны, км.

Значение K_m зависит от количества поездов m и взаимного расположения тяговых подстанций и линий связи. Его можно определить из выражения:

$$K_m=\frac{1}{m}\left[1+(m-1)\left(1-\frac{2l_H+l_Э}{2l_T}\right)\right],$$

где $l_H, l_Э, l_T$ - расчётные длины, которые берутся из задания, км.

2.2 Расчёт опасного напряжения при электрическом воздействии

Расчёт опасного напряжения, обусловленного электрическим воздействием, производят только для вынужденного режима работы тяговой сети, когда участок электрической железной дороги, питаемый от одной фазы, имеет наибольшую длину.

Значение опасного напряжения $U_Э$, определяется по формуле, В:

$$U_Э=U_H\cdot k\frac{H_K\cdot H_C}{a^2+H_K^2+H_C^2}\cdot\frac{l_Э}{l},$$

где $U_H=27500$ - номинальное напряжение в тяговой сети, В;

k - коэффициент, учитывающий количество влияющих проводов, расположенных на опорах контактной сети. При выполнении контрольной работы этот коэффициент может быть принят равным 0,5;

H_K - высота подвеса эквивалентного контактного провода относительно

головки рельсов. В контрольной работе $H_K = 7,0$ м;

H_C - средняя высота подвеса линии связи относительно земли, H_C можно принять равной 6,0 м;

a - ширина сближения, м;

l - полная длина линии связи, l_3 и l берутся в км.

2.3 Расчёт результирующего опасного напряжения

Провода воздушной линии связи, изолированные от земли, подвержены как электрическому, так и магнитному воздействию. Результирующее напряжение определяется только для вынужденного режима работы тяговой сети. С учетом того, что линия связи изолирована от земли, значение результирующего опасного напряжения U_{M3} определяют из выражения, В:

$$U_{M3} = \sqrt{\left(\frac{U_M \cdot l_C}{l}\right)^2 + U_3^2}$$

где $l_C = l - \frac{l_3}{2}$, км.

Допускаемые опасные напряжения для режима короткого замыкания и вынужденного режима имеют различные значения. Для режима короткого замыкания допустимые напряжения зависят от времени отключения короткого замыкания и конструкции линии.

Для воздушных линии с деревянными опорами:

при $t_{\text{откл}} \leq 0,15$ с $U_{\text{доп}} = 2000$ В;

при $t_{\text{откл}} \leq 0,30$ с $U_{\text{доп}} = 1500$ В.

Значение допустимого напряжения для вынужденного режима также зависит от конструкции линии. Для воздушной линии на деревянных опорах $U_{\text{доп}} = 60$ В.

3 Последовательность выполнения контрольной работы

3.1. В соответствии со своим шифром составить расчетную схему для определения воздействия тяговой сети на линию связи. Значения l_T , l , l_B , l_3 и l_C взять в одном масштабе. Значение a на схеме выбрать произвольно.

3.2. Рассчитать опасные напряжения при магнитном воздействии для двух режимов работы тяговой сети.

3.3. Рассчитать опасное напряжение при электрическом воздействии.

3.4. Рассчитать результирующее опасное напряжение.

3.5. Сравнивать полученные значения напряжений с допустимыми нормами и сделать вывод о необходимости защиты линии связи.

4 Задание на контрольную работу

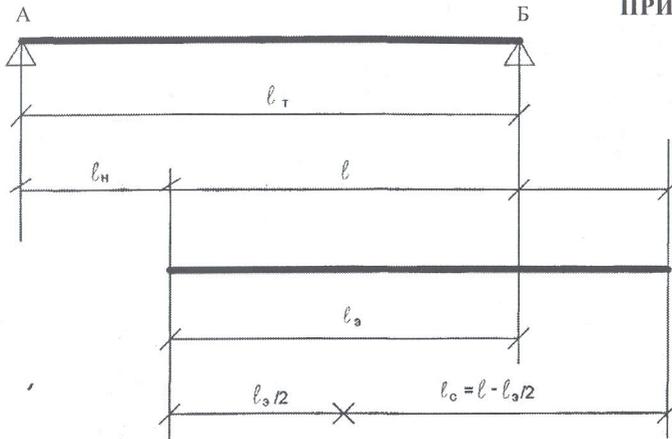
4.1. Расчетная схема (см. ПРИЛОЖЕНИЕ).

4.2. Из приложения берутся:

- тип подвески контактной сети и количество поездов, одновременно находящихся в пределах плеча питания, в соответствии с последней цифрой шифра (см. ПРИЛОЖЕНИЕ);

- расчетные параметры тяговой сети и линии связи и проводимость земли в соответствии с предпоследней цифрой шифра (см. ПРИЛОЖЕНИЕ);

- параметры тяговых подстанции и напряжение короткого замыкания в соответствии с последней цифрой шифра (см. ПРИЛОЖЕНИЕ).



Задание на выполнение контрольной работы

Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_T , км	40	45	50	55	60	53	49	51	43	51
l_H , км	3	4	5	6	7	8	9	10	2	3
l , км	35	47	49	60	55	48	45	55	30	48
α , м	10	15	20	25	25	20	15	15	10	10
σ , См/м	0,003	0,006	0,012	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,009	0,040
$S_{H\text{III}A}$, МВА	32	40	46	45	35	40	32	40	45	46
$S_{K3\text{III}A}$, МВА	300	400	350	350	320	410	330	370	330	430
$S_{H\text{III}B}$, МВА	40	32	35	45	40	32	40	32	36	40
$S_{K3\text{III}B}$, МВА	400	300	300	320	400	300	410	300	300	370
U_K , %	13	13	13	15	15	15	17	14	14	14
Тип подвески	ПБСМ-95+МФ-100					М-120+МФ-100				
Γ_{KC} , Ом/км	0,20					0,14				
χ_{KC} , Ом/км	0,45					0,40				
Число поездов m	3					4				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость./Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: УМК МПС, 2002 - 638 с.
2. Ратнер М.П., Могилевский Е.Л. Электроснабжение нетяговых потребителей М.: Транспорт, 1985.- 295 с.
3. Правила защиты устройств проводной сети электрифицированных железных дорог переменного тока. - М.: Транспорт, 1989.- 134 с.
4. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.1 Под ред. К. Г. Марквардта. - М.: Транспорт, 1980.- 256 с.