
**Решение мгновенных схем
с учетом изменяющегося
напряжения на шинах тяговой
подстанции постоянного тока**

Расчет мгновенных схем участков постоянного тока

Расчет нагрузок фидеров и подстанций, потерь напряжения в тяговой сети. Питание тяговой сети может быть односторонним и двусторонним. При этом на двух путных и многопутных участках в зависимости от соединения проводов контактной сети отдельных путей между собой различают схемы раздельного питания, узлового и параллельного соединения.

При рассмотрении методов расчета мгновенных схем нет необходимости особо останавливаться на схемах раздельного и параллельного соединения контактной сети разных путей. Отличие состоит только в том, что при раздельном питании расчет необходим вести для каждого пути в отдельности, а при параллельном выполнять его так же, как при однопутном участке, но с учетом нагрузок на всех путях и при уменьшенном сопротивлении тяговой сети.

Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены только расчеты схем одностороннего, двустороннего, а также узлового питания двухпутного участка.

Схема одностороннего питания участка тяговой сети. На схеме (рис. 9.2) тяговая сеть изображается одной линией с указанием всех нагрузок, размещенных на рассматриваемом участке.

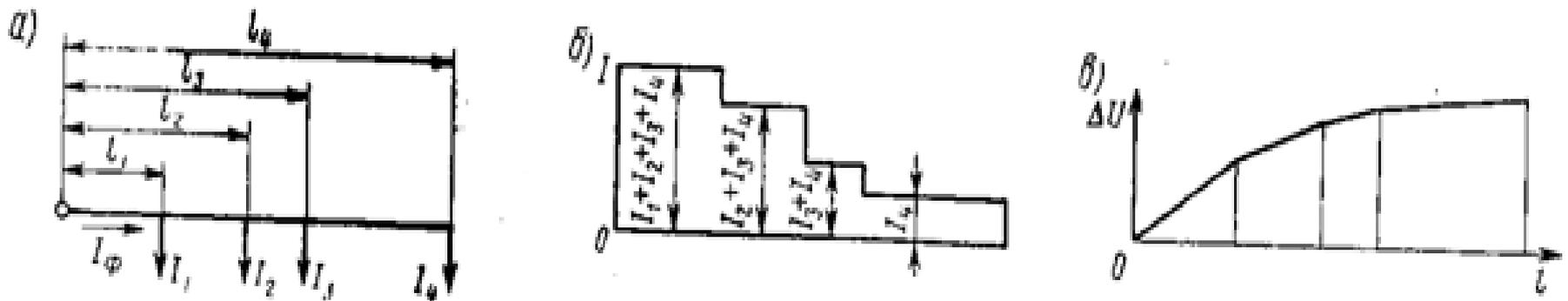


Рис 9.2 Схема одностороннего питания с четырьмя нагрузками (а), графики изменения тока по длине участка (б) и потеря напряжения (в)

При расчете потерь напряжения и мощности в тяговой сети учитывают суммарное сопротивление проводов контактной сети и рельсов.

Для участка с односторонним питанием ток питающей линии (фидера)

$$I_{\phi} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

Потеря напряжения в проводах тяговой сети от подстанции до первой нагрузки может быть выражена произведением фидерного тока I_{ϕ} на сопротивление тяговой сети этого участка:

$$\Delta U_1 = I_{\phi} r l_1$$

где r – сопротивление 1 км тяговой сети, Ом/км;

l_1 – расстояние от тяговой подстанции до нагрузки I_1 , км.

Определим потерю напряжения в тяговой сети до любой нагрузки, например до I_3 . Эта потеря на участке с односторонним питанием остается постоянной при изменении месторасположения нагрузки I_4 до ее совмещения с нагрузкой I_3 . При таком перемещении нагрузки I_4 фидерный ток также не изменится.

$$\Delta U_1 = r l_1 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$\Delta U_3 = r(l_1 I_1 + l_2 I_2 + l_3 (I_3 + I_4))$$

Таким образом, при определении потери напряжения в тяговой сети на участке от подстанции до нагрузки можно вместо схемы рис. 9.2, а рассмотреть схему, представленную на рис. 9.2, г. Каждая нагрузка дает свою потерю напряжения в тяговой сети от подстанции до места расположения нагрузки I3. Так, от нагрузки I1 составляющая потери напряжения $r l_1 I_1$ на участке l1; от нагрузки I2 – $r l_2 I_2$ на участке l2. Наконец, сумма токов $I_3 + I_4$ вызовет составляющую потери напряжения $r l_3 (I_3 + I_4)$ на участке l3.

На рис. 9.2, б, в показаны графики изменения токов и потерь напряжения в тяговой сети. На участке от подстанции до первой нагрузки по проводам тяговой сети будет протекать ток фидера, равный сумме всех нагрузок. На следующем участке суммарный ток будет меньше на I1 и т.д. Наклон отрезков графика потери напряжения (см. рис. 9.2, в) будет тем круче, чем больше ток, протекающий по соответствующему участку тяговой сети. Это закономерно, так как при одной и той же длине участка потеря напряжения в тяговой сети пропорциональна току.

Следовательно, наибольшая крутизна графика потери напряжения будет на участке от подстанции до первой нагрузки, а затем она начнет постепенно уменьшаться.

Полученные результаты можно распространить на общий случай, когда на участке располагается m нагрузок. Ток фидера в этом случае равен сумме токов всех нагрузок:

$$I_{\phi} = \sum_{i=1}^m I_i$$

Определим потерю напряжения в тяговой сети на участке, например для нагрузки k . Для этого составим новую схему (рис. 9.4, б), на котором все нагрузки, расположенные правее нагрузки k , перенесены в точку ее приложения.

Потеря напряжения в тяговой сети для рассматриваемого участка

$$\Delta U_k = r [I_1 I_1 + I_2 I_2 + I_3 I_3 + \dots + I_k (I_k + I_{k+1} + \dots + I_{m-1} + I_m)]$$

$$\Delta U_k = r \left[\sum_{i=1}^{k-1} I_i^2 + I_k \sum_{i=k}^m I_i \right]$$

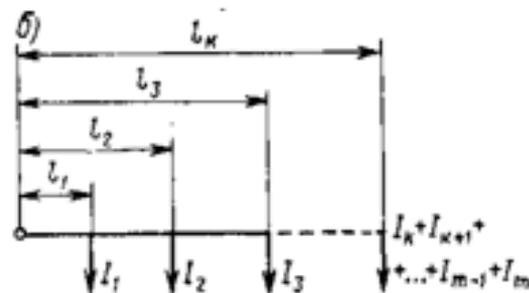
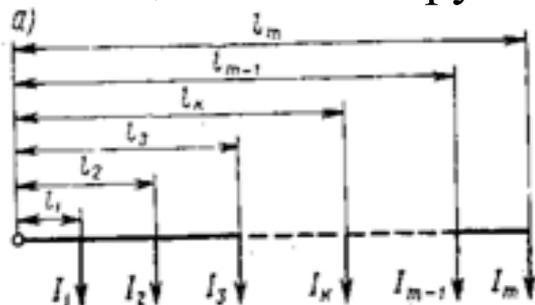
Схема двустороннего питания участка тяговой сети. При расчете такой схемы необходимо в первую очередь найти распределение токов между фидерами тяговых подстанций А и В. Примем напряжение на подстанции А равным U_A , а на подстанции В равным U_B . Пусть $U_B > U_A$. Тогда потеря напряжения в тяговой сети на участке от тяговой подстанции А до подстанции В

$$\Delta U_{AB} = U_A - U_B$$

В частном случае при равных напряжениях на шинах подстанций потеря напряжения в тяговой сети между ними будет равна нулю. При известной потере напряжения в тяговой сети между двумя смежными подстанциями можно вывести формулу для расчета токов фидеров при двустороннем питании участка контактной сети. Проще всего это сделать, если представить неизвестный ток I_B подстанции В в виде отрицательной нагрузки. Тогда получим схему с односторонним питанием участка тяговой сети, представленную на рис. 10.4, б.

Воспользовавшись формулой (10.25), можно написать выражение для потери напряжения между точками А и В и приравнять ее разности напряжения U_{AB} :

Рис. 10.4 Схемы одностороннего питания с расположением на участке нагрузок (а) и с совмещенными нагрузками в точке приложения расчетной нагрузки (б)



$$\Delta U_{AB} = r \sum_{i=1}^m l_i I_i - U_B$$

Найдем ток фидера подстанции В:

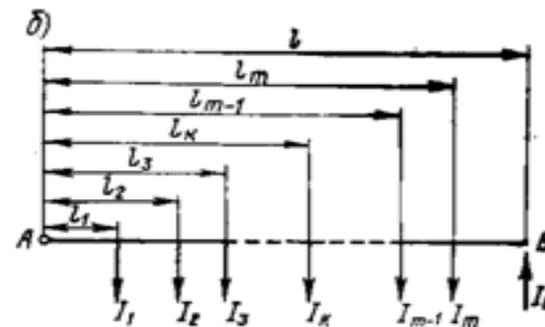
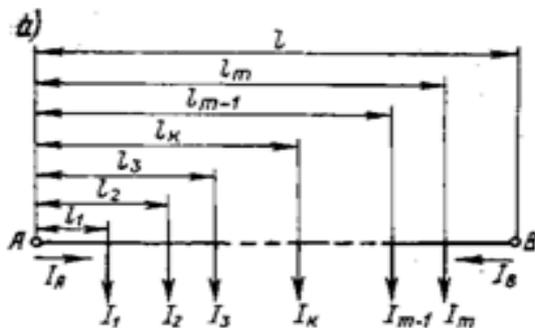
$$I_B = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^m l_i I_i - \frac{\Delta U_{AB}}{r}$$

Можно записать выражение и для определения тока фидера подстанции А:

$$I_A = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^m (l - l_i) I_i + \frac{\Delta U_{AB}}{r}$$

Необходимо заметить, что ток I_A может быть определен также и на основании первого закона Кирхгофа, если известен ток I_B :

$$I_A = \sum_{i=1}^m I_i - I_B$$



Таким образом, после определения тока I_B можно при расчете потери напряжения в тяговой сети вместо заданной схемы двустороннего питания рассматривать схему одностороннего питания. Рассматривая ток I_B как отрицательную нагрузку, можно вывести выражение для потери напряжения в тяговой сети на участке от тяговой подстанции А до нагрузки I_k :

$$\Delta U_k = r \left[\sum_{i=1}^{k-1} L_i I_i + L_k \left(\sum_{i=k}^m I_i - I_B \right) \right]$$

Узловая схема питания двухпутного участка тяговой сети. Рассмотрим схему для случая, когда напряжения на подстанциях А и В равны.

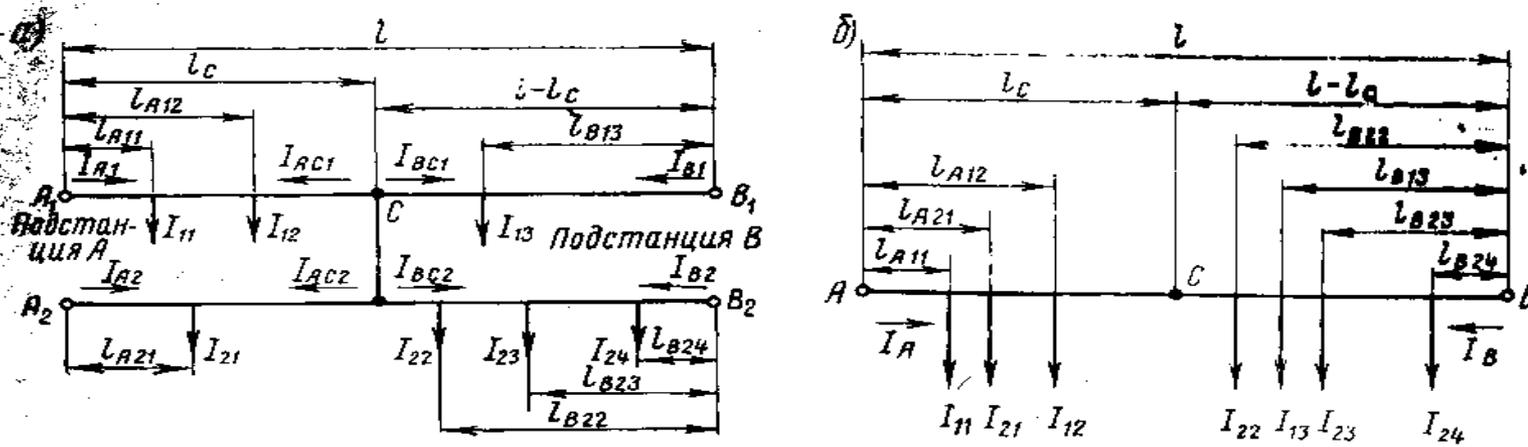


Рис10.5 Схема двустороннего питания (а) и приведение ее к расчетной схеме одностороннего питания (б)

- распределение токов между подстанциями (но не между фидерами) при узловых схеме питания можно находить так же, как и при полном параллельном соединении проводов контактной сети различных путей.
- Следовательно, схему, изображенную на риса, можно заменить схемой б, в которой все нагрузки присвоены у одной линии, имеющей суммарную площадь сечения проводов контактной подвески и рельсов обоих путей.

Пользуясь формулами, выведенными для схемы двустороннего питания, можно определить, например, ток I_B и потерю напряжения в тяговой сети ΔU_C от подстанции В до точки С. Для принятых на рис. 10.6 обозначений получим:

$$I_B = \frac{1}{i} \left[l_{A11} I_{11} + l_{A21} I_{21} + l_{A12} I_{12} I_{12} + (l - l_{B22}) I_{22} + \right. \\ \left. + (l - l_{B13}) I_{13} + (l - l_{B23}) I_{13} + (l - l_{B24}) I_{24} \right]$$

$$\Delta U_C = r_0 \left[l_{A11} I_{11} + l_{A21} I_{21} + l_{A12} I_{12} I_{12} (l_{23} + l_{13} + l_{23} + l_{24} - I_B) \right]$$

Определив потерю напряжения в тяговой сети от подстанции до точки С, можно для расчета распределения токов между фидерами тяговых подстанций и поста секционирования воспользоваться формулой для двустороннего питания тяговой сети при отдельной работе путей. Для этого будем считать условно, что в точке С расположена тяговая подстанция, напряжение на шинах которой на ΔU_C ниже, чем на подстанции А и В. Вследствие этого от подстанции А к подстанции С потечет уравнительный ток:

$$I_{yA} = \frac{\Delta U_{C1}}{r_0 l_0} = \frac{\Delta U_{C1}}{l_c}$$

где ΔU_{C1} – потеря напряжения до точки С при $r_0 = 1$ Ом/км
 Этот ток распределится между фидерами обратно пропорционально сопротивлению контактной сети.

Для фидера первого пути

$$I_{yA} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} I_y = \frac{\Delta U_{C1}}{l_c} \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

Для фидера второго пути

$$I_{yA2} = \frac{\Delta U_{C1}}{l_c} = \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

где r_1 и r_2 – сопротивление 1 км контактной сети соответственно первого и второго пути, Ом/км.

С учетом этого, например, токи I_{A1} и I_{AC1} могут быть найдены из выражений:

$$I_{A1} = \frac{1}{l_c} [(l_{A11} l_{11} + l_{A12} l_{12}) l_{11} + (l_c + l_{A12}) l_{12}] + \frac{\Delta U_{C1}}{l_c} \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

$$I_{AC1} = \frac{1}{l_c} ((l_{A11} l_{11} + l_{A12} l_{12})) - \frac{\Delta U_{C1}}{l_c} \frac{r_2}{r_1 + r_2} = I_{11} + I_{12} - I_{A1}$$

Аналогичным образом могут быть найдены и все остальные токи. После того как найдены токи фидеров подстанции, нетрудно рассчитать ее общую нагрузку. Для этого надо просуммировать токи всех фидеров.

Впрочем нагрузку подстанции можно определить сразу по формулам для двустороннего питания, принимая полное параллельное соединение проводов контактной подвески первого и второго путей.

Расчет потерь мощностей в тяговой сети. Пусть все тяговые подстанции, питающие рассматриваемую зону, имеют одинаковое напряжение U . Если в этой зоне находится n нагрузок, то суммарный их ток равен , $\sum_{i=1}^n I_i$
а мощность, отбираемая от подстанций

$$P = U \sum_{i=1}^n I_i$$

Напряжение у i -й нагрузки будет равно $(U - \Delta U_i)$, здесь ΔU_i – потеря напряжения в тяговой сети от подстанции до i -й нагрузки. При этом безразлично, от какой из подстанций отсчитывать потерю напряжения, так как предварительно было принято, что напряжения на всех подстанциях одинаковы. Мощность, потребляемая нагрузкой i :

$$P_i = (U - \Delta U_i) I_i$$

$$P_i = UI_i - \Delta U_i I_i$$

Суммарная мощность, потребляемая всеми нагрузками на рассматриваемом участке,

$$P = U \sum_{i=1}^m I_i - \sum_{i=1}^m \Delta U_i I_i$$

Потеря мощности в тяговой сети может быть найдена как разность между мощностью P_0 , отбираемой от подстанций, и суммарной мощностью P , получаемой всеми потребителями:

$$\Delta P = P_0 - P = \sum_{i=1}^{m} \Delta U_i I_i$$

Таким образом, потеря мощности в тяговой сети определяется как сумма произведений токов электровозов отдельных поездов на потери напряжения до их токоприемников.