

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглянуто непрямий метод визначення втрат електроенергії в тяговій мережі. Наведено приклад розв'язання такої задачі за допомогою спеціалізованої імітаційної моделі та результати статистичного аналізу отриманих результатів. Показане можливе застосування досягнутих результатів.

Рассмотрен косвенный метод определения потерь электроэнергии в тяговой сети. Приведен пример решения такой задачи с помощью специализированной имитационной модели и результаты статистического анализа полученных результатов. Показано возможное применение достигнутых результатов.

An indirect method of electric power losses determination in traction network was examined. An example of solving same task with the help of specialized imitation model and results of statistic analysis are adducted. Possible ways of using given results are showed.

Применение прямых методов оценки потерь в тяговой сети не дает удовлетворительных результатов в силу ряда причин [1–3]. Ниже рассмотрены вопросы их оценки косвенными методами.

В отличие от активного сопротивления трансформаторов, сопротивление в тяговой сети, участвующей в передаче электрической энергии, меняется не только от температуры, но и от числа электроподвижных нагрузок в зоне. Пусть имеется межподстанционная зона (МПЗ) с односторонним питанием и некоторой обобщенной нагрузкой I . Расположение и величина отдельных нагрузок на первом этапе не будет учитываться, тогда справедлива схема 1, приведенная на рис. 1.

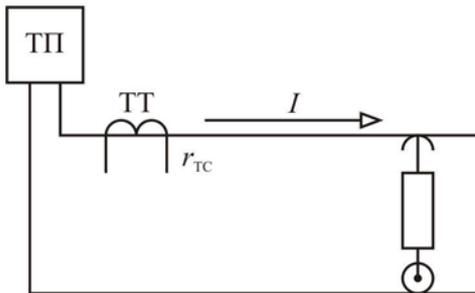


Рис. 1. Расчётная схема к определению эквивалентного сопротивления тяговой сети при одной нагрузке в межподстанционной зоне

Для схемы 1 потери электроэнергии за расчетный период T могут быть вычислены по очевидной формуле

$$\Delta W_{\text{тс}} = I^2 r_{\text{тс}} T, \quad (1)$$

где I – ток нагрузки, который может фиксироваться посредством шунта Ш с подключенным к нему амперметром на дороге с системой тяги

постоянного тока или трансформатора тока и амперметра на дороге с системой тяги переменного тока; $r_{\text{тс}}$ – удельное сопротивление тяговой сети, Ом/км; T – расчётный период времени, месяцы.

Однако поездная ситуация может быть самой разнообразной. Пусть, например, она соответствует схеме 2, приведенной на рис. 2.

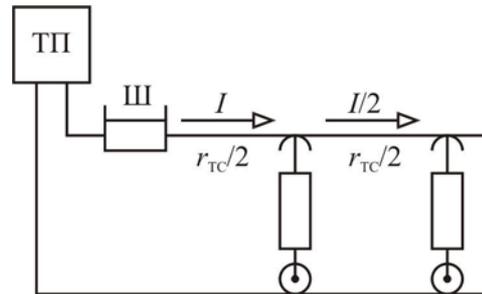


Рис. 2. Расчётная схема к определению эквивалентного сопротивления тяговой сети при двух нагрузках в межподстанционной зоне

Несмотря на то, что суммарный ток нагрузки не изменился, потери электроэнергии за тот же период времени T описывается иным выражением

$$\Delta W_{\text{тс}} = \frac{I^2 r_{\text{тс}}}{2} + \frac{I^2}{4} \cdot \frac{r_{\text{тс}}}{2} = \frac{5}{8} I^2 r_{\text{тс}}.$$

Предположим, что мы пытаемся организовать контроль потерь непосредственно по току тяговой подстанции и на основании информации о некоторой обобщенной нагрузке в МПЗ. Тогда схема замещения для схемы 1, схемы 2 и других возможных схем будет одинакова, и будет совпадать, в данном случае, со схемой 1.

Поскольку для действительной и эквива-

лентной схем должны совпадать рассматриваемые параметры, то справедливы следующие выражения

- для схемы 1:

$$I^2 r_{TC} = I^2 r_{эKB1};$$

$$r_{эKB1} = \frac{I^2 r_{TC}}{I^2} = r_{TC},$$

т. е. эквивалентное $r_{эKB1}$ и действительное r_{TC} сопротивления совпадают;

- для схемы 2:

$$I^2 r_{TC} = I^2 r_{эKB2};$$

$$r_{эKB2} = \frac{5}{8} r_{TC}.$$

Рассматривая подстанцию как источник электроэнергии для нагрузок ЭПС, питающий их через некоторое эквивалентное сопротивление, можно сделать вывод, что при прочих равных условиях эквивалентное сопротивление, а значит, и потери электроэнергии меняются в зависимости от того, где расположены нагрузки и от значения их величин. Кроме того, можно заключить, что если бы было известно эквивалентное сопротивление на каждый момент времени, то можно было бы организовать контроль потерь электрической энергии в тяговой сети непосредственно как

$$\Delta W_{TC} = \int_0^T r_{эKB} I_t^2 dt \quad (2)$$

В [3] показано, что величина эквивалентного сопротивления $r_{эKB}$ статистически устойчива и колеблется относительно своего устойчивого значения значительно меньше, чем I^2 , а поэтому ее можно вынести за знак интеграла.

Правда $r_{эKB}$, которое еще иногда называют коэффициентом пропорциональности потерь электроэнергии, статистически устойчиво при незначительных изменениях параметров его определяющих – числа поездов в межподстанционной зоне (МПЗ), соотношения грузопотоков по путям, наличия пунктов параллельного соединения (ППС) и постов секционирования контактной сети (ПСК) и других. Поэтому при практической реализации контроля потерь электроэнергии в тяговой сети этим методом требуется периодическая поправка $r_{эKB}$.

Величина $\int_0^T I_t^2 dt$ может быть легко измерена при помощи счетчиков квадрата тока. Особен-

ностью такого счетчика является то, что его обмотка напряжения заменяется токовой и тогда он измеряет не $\int_0^T U_t I_t dt$, а $\int_0^T I_t I_t dt = \int_0^T I_t^2 dt$.

Таким образом, следует определить $r_{эKB}$.

Пусть мы имеем информацию о контролируемом участке – параметры тяговой сети, протяженность МПЗ, схему питания тяговой сети, число поездов различного типа, обращающихся на участке, и токи, потребляемые ими. Тогда известными методами можно для заданных условий рассчитать потери электроэнергии ΔP_{TC} аналитическими методами. Если для аналогичных условий оценить потери по $r_{эKB}$ и счетчику квадратов тока, то очевидно допустимо равенство с определенной степенью погрешности

$r_{эKB} \int_0^T I_t^2 dt = \Delta P_{TC}$, откуда для заданных условий:

$$r_{эKB} = \frac{\Delta P_{TC}}{T \int_0^T I_t^2 dt}$$

В случае если имеется несколько фидеров и двустороннее питание МПЗ, потери энергии выражаются:

$$\Delta W_{TC} = r_{эKB} \int_0^T \sum_{i=1}^n I_{it}^2 dt, \quad (3)$$

где i – номер фидера.

Структура формулы (3) очень проста и указывает на возможность использования микропроцессорной техники для реализации аппаратного контроля потерь в тяговой сети. Структурная схема такого контроля приведена на рис. 3.

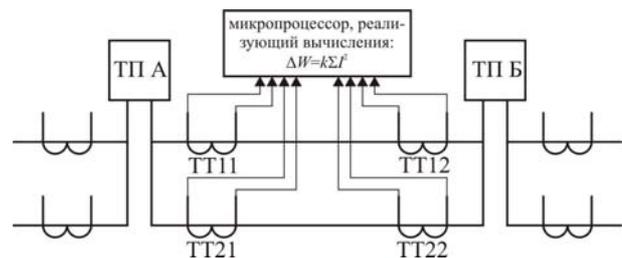


Рис. 3. Структурная схема организации алгоритмического контроля потерь электроэнергии в тяговой сети одной межподстанционной зоны: ТТ11-ТТ22 – трансформаторы тока на фидерах двух смежных подстанций

Решать задачу определения потерь электроэнергии в тяговой сети удобно с помощью метода имитационного моделирования. На кафедре «Электроснабжения железных дорог» разра-