

Г.А. ДОМАНСКАЯ, ст. преподаватель ДНУЖТ (г. Днепропетровск)

ОЦЕНКА ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СХЕМ ПИТАНИЯ

У роботі запропоновані технології енергозбереження для системи тягового електропостачання.

In work offered energy-saving technology for the system of hauling power supply.

Актуальность темы обусловлена

Предварительная оценка схемы питания тяговой сети и выбор схемы, позволяющей приблизиться к энергосберегающему режиму системы тягового электроснабжения (СТЭ), определяется моделированием перетоков мощности и потерь энергии [1,2].

Целью работы является обоснование экспертной системы реализующей энергосберегающие технологии в СТЭ.

Для достижения этой цели автором была разработана компьютерная программа «МСП» на языках программирования Turbo Basic и Visual Basic 6, позволяющая рассчитывать эффективность работы тяговой сети при различных схемах питания. Программа «МСП» на основании результатов моделирования движения поездов по двухпутному участку позволяет определить активные и реактивные расходы и потери мощности в тяговой сети. Зная полный расход электроэнергии тяговой подстанции, при помощи формул, возможно, приближенно определить величину перетока электроэнергии по тяговой сети и выбрать энергосберегающие режимы, используя различные схемы питания тяговой сети.

Расходы энергии по плечам питания тяговых подстанций на имитационной модели определяются по формуле [1,2]:

$$W = \sum_{i=1}^n I_{ni}^* \dot{U}_{ui} \quad (1)$$

где \dot{I}_{ni} – сопряженный комплекс мгновенных значений токов плеч питания тяговой подстанции; \dot{U}_{ui} – мгновенное значение напряжения на шинах тяговой подстанции; n – количество решенных мгновенных схем за время моделирования T .

Следует отметить, что полный расход электроэнергии тяговой подстанции складывается из трех составляющих: расхода электроэнергии на тягу поездов, потерь электроэнергии в тяговой сети и перетоков электроэнергии по тяговой сети. Таким образом, возможно, приблизительно определять переток

электроэнергии по тяговой сети по следующей формуле:

$$W_{nep} = W - \Delta W - W_{mn} = \sum_{i=1}^n (I_{ni} \dot{U}_{ui} - \Delta \dot{S}_i) - W_{mn} \quad (2)$$

где W – полный расход электроэнергии тяговой подстанции; W_{mn} – расход электроэнергии на тягу поездов; ΔW – потери электроэнергии в тяговой сети; n – количество решенных мгновенных схем за время моделирования T .

Расход электроэнергии на тягу поездов, возможно, определить следующим образом:

$$W_{mn} = \sum_{i=1}^m W_i, \quad (3)$$

где W_i – расход электроэнергии i -го поезда; m – количество поездов на межподстанционной зоне.

Подставляя значение W_{mn} в формулу (2) получим окончательное выражение для определения перетока электроэнергии по тяговой сети за время моделирования T :

$$W_{nep} = \sum_{i=1}^n (I_{ni} \dot{U}_{ui} - \Delta \dot{S}_i) - 2,725 \sum_{j=1}^m \int_{S_n}^{S_j} F_k(S) \eta^{-1}(S) dS \quad (4)$$

Вместе с тем реализация систем АСКУЭ практически на всех железных дорогах Украины позволяет уже сегодня использовать данные микропроцессорных счетчиков электроэнергии тяговых подстанциях и осуществлять фактическое определение расходов электроэнергии, при различных схемах питания по предложенной ниже методике. Последние модификации счетчиков «Альфа» на тяговых подстанциях (при соответствующем программном обеспечении) могут измерять и потери энергии на межподстанционной зоне.

Счетчиками «Альфа» или их аналогами измеряется расход электроэнергии $W\partial$ за некоторый период времени T_1 при схеме двухстороннего питания. Затем схема питания переводится на консольную и за такой же промежуток времени T_2 измеряется расход электроэнергии Wk . Необходимо выполнять условие $T_1=T_2=T$. Если грузопотоки Γ_K и Γ_D в промежутке времени соответственно T_1 и T_2 приблизительно равны ($\Gamma_K = \Gamma_D$), то возможно оценить экономический эффект схемы питания по формуле:

$$\Xi = (W\partial - Wk) C_3, \quad (5)$$

где C_3 – стоимость электроэнергии - грн/кВт·ч; $W\partial$ – расход электроэнергии при двухстороннем питании - кВт·ч; Wk – расход электроэнергии при консольном питании - кВт·ч.

Если $\Xi > 0$, то выгоднее консольная схема питания, если $\Xi < 0$, то выгоднее двухсторонняя схема питания.

Если же грузопотоки не одинаковы $\Gamma_K \neq \Gamma_D$ то сравнение предлагается осуществлять следующим образом:

$$\Delta a = a_D - a_K, \quad (6)$$

где $a_D = W\partial/\Gamma_D$ – удельный расход электроэнергии на тягу при двухсторонней схеме питания; $a_K = Wk/\Gamma_K$ – удельный расход электроэнергии на тягу при консольной схеме питания. Если $\Delta a > 0$, то выгоднее консольная схема питания, если $\Delta a < 0$, то выгоднее двухсторонняя схема питания.

Известно, что при изменении грузопотока изменяется выгодность различных схем питания. Может возникнуть задача проверить выгодность выбранной по выражению (5) схемы питания в том случае, если ожидается изменение грузопотока при сохранении тех же условий перетока мощности по тяговой сети. Предлагается следующий путь решения этой задачи. В качестве исходных данных требуется знать величины электропотребления W_i , грузопотока Γ_i и удельного расхода электроэнергии на тягу $a_i = W_i/\Gamma_i$ за n периодов интервала времени T . Значения W_i и Γ_i возможно получить, используя счетчики «Альфа» и зная график движения поездов.

При наличии исходных данных за n периодов интервала времени T возможно составить следующую регрессионную модель:

$$a = b_0 + b_1 \Gamma, \quad (7)$$

где $a = W/\Gamma$ – кВтч/ткм – удельный расход электроэнергии на тягу; Γ – ткм – грузопоток.

Константы b_0 и b_1 определяются из временного ряда с использованием метода наименьших квадратов, в соответствии с которым находятся значения этих констант, доставляющих минимум сумме квадратов разностей между наблюдаемыми и вычисленными величинами.

Определим сумму квадратов отклонений между наблюдаемыми и вычисленными величинами:

$$S = \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i)^2 \quad (8)$$

Значения коэффициентов b_0 и b_1 определяются из соответствующих условий минимума функции S , которые представимы в виде следующих уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b_1} = -2 \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i) * \Gamma_i = 0 \quad (10)$$

После алгебраических преобразований получаем следующее решение данных уравнений:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i V_i - n \bar{a} \bar{\Gamma}}{\sum_{i=1}^n V_i^2 - n \bar{\Gamma}^2}, \quad b_0 = \bar{a} - b_1 * \bar{\Gamma} \quad (12)$$

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i}{n}, \quad \bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

где $\bar{\Gamma}$ и \bar{a} — средние значения. Приведенные соотношения показывают, что сначала необходимо вычислить b_1 , а затем величину коэффициента b_0 . Вычисленные значения b_0 и b_1 имеют силу при любом вероятностном распределении случайных величин a_i .

Чтобы проверить насколько линейная модель (7) соответствует исходным данным, необходимо вычислить коэффициент корреляции r согласно формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ki} \Gamma_{ki} - n * \bar{a}_k * \bar{\Gamma}_k}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \Gamma_{ki}^2 - n * \bar{\Gamma}_k^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n a_{ki}^2 - n * \bar{a}_k^2 \right)}} \quad (12)$$

где $-1 \leq r \leq 1$. Если $r = \pm 1$, тогда линейная модель идеально подходит для описания зависимости между y и t . В общем случае, чем ближе $|r|$ к 1, тем лучше подходит линейная модель. Считается, как правило, что линейная модель подходит для исходных данных если $0.75 \leq |r| \leq 1$.

Коэффициенты b_0 , b_1 и r для величин a_{ki} и a_{di} определяются аналогичным образом. На основе формул (5)–(12) автором разработана компьютерная программа «PM-05» на языках программирования Turbo Basic и Visual Basic 6, позволяющая рассчитывать экономическую целесообразность работы тяговой сети при различных схемах питания.

Практически, как отмечалось в первом разделе и подтверждено в третьем, переток мощности при сохранении двухстороннего питания межподстанционной зоны есть всегда. Максимальное его значение будет, если тяговые подстанции, питающие межподстанционную зону, получают энергию от разных энергосистем. Действительно перетоки мощности по тяговым сетям на стыке Юго-Западной и Львовской железных дорог (питание тяговых подстанций осуществляется от разных энергосистем) достигают предельных значений и неизбежно требуют деления сети низшего напряжения 27,5 кВ.

Так режимы работы СТЭ пяти тяговых подстанций Львовской железной дороги при существующих грузопотоках с консольными схемами питания энергоэффективны и позволяют уменьшать суммарное электропотребление тяговых подстанций примерно на 500 тыс. кВт·ч ежемесячно. Эффективность перехода на консольные схемы питания согласно формуле (5):

$$\Delta E = (W_d - W_k) C_3 = 500000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} * 0.2896 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч} = 144800 \text{ грн.}$$

Таким образом, при определенных грузопотоках и перетоках энергии экономически выгодными для железных дорог являются консольные схемы питания тяговых сетей.

Выводы:

Предложена и обоснована экспертная система реализации энергосберегающих технологий работы СТЭ, позволяющая повысить энергетическую эффективность и оперативность управляющих воздействий путем сочетания эвристических, ретроспективных и каузальных знаний в локальных и глобальной системах управления устройствами электроснабжения по обобщенному критерию минимума стоимости электроэнергии.

Получила развитие методика автоматизированного формирования баз знаний экспертная система для выбора энергосберегающих режимов работы СТЭ на основе обработки данных имитационного моделирования и эксплуатационных наблюдений в форме таблиц условной классификации.

Исследованы суточные активные и реактивные расходы и потери энергии межподстанционной зоны двухпутного участка при различных способах изменения грузопотока: интенсификации массы поездов и увеличения количества поездов при ритмичном графике. Установлено, что увеличение перевозимой по двухпутному участку массы с 391,5 тыс.т до 699 тыс.т в сутки при различных способах реализации графика движения поездов и интенсификации их веса приводит к существенно разным потерям энергии. При ритмичном графике и соответствующих типах поездов потери энергии снижаются минимум в 3 раза.

Создана и реализована в виде компьютерной программы «МСП» методика оценки экономической целесообразности схем питания на основе данных об электропотреблении и объемах перевозок. Установлено, что при малых грузопотоках и больших перетоках энергии экономически выгодными для железных дорог являются консольные схемы питания, которые позволяют ликвидировать перетоки мощности и снизить потери энергии, например на одной межподстанционной зоне переменного тока в пределах от 250 до 500 тыс. кВт·ч в год.

Предложен способ регулирования режимов работы СТЭ на базе нечетких моделей и методов управления. Для обеспечения энергосберегающих режимов работы СТЭ с учетом питающих их энергосистем построена база нечетких правил, которая позволяет энергодиспетчеру выбрать уровни напряжений на шинах тяговых подстанций и схемы питания тяговых сетей минимизирующие перетоки мощности и потери энергии в тяговой сети.

Список литературы: 1. Корниенко В.В., Доманская Г.А. Методы расчета и моделирования режимов работы систем тягового электроснабжения и питающих их энергосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/3 (29). – С. 31 – 37. 2. Доманская Г.А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем // Тезисы докладов четвертого международного симпозиума «Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте» (Eltrans'2007). – С.-Петербург. -2007. – С. 35 – 36.

Поступила в редколлегию 5.10.07