

Снижение потерь электроэнергии при помощи установок компенсации реактивной мощности на посту секционирования тяговой сети переменного тока

Л. А. ГЕРМАН, А. С. СЕРЕБРЯКОВ

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС), Нижегородский филиал, Нижний Новгород, 603011, Россия

Аннотация. Разработана методика расчета потерь мощности в тяговой сети с регулируемыми и нерегулируемыми установками поперечной емкостной компенсации на посту секционирования. Эффективность установок компенсации реактивной мощности снижается в связи с распределенной тяговой нагрузкой, а эффективность регулирования снижается при увеличении пропускной способности участка железной дороги, что позволяет оценить предложенные формулы. Приведенные примеры расчета для реальных исходных данных показывают, что полные потери в тяговой сети (100 %) могут быть снижены с помощью компенсирующих установок поста секционирования до 21 % при плавно регулируемых и до 13,4 % при нерегулируемых установках.

Ключевые слова: потери мощности; пост секционирования; компенсация реактивной мощности; регулируемые установки; перекompенсация

Введение. Для повышения пропускной способности на железных дорогах переменного тока включают регулируемые установки компенсации реактивной мощности (КУ) на постах секционирования. Проведем расчеты по снижению потерь электроэнергии для случая включения регулируемой КУ на посту секционирования. Из [1–3] известно об ограниченных возможностях КУ по снижению потерь электроэнергии в тяговой сети, и в частности для установок на постах секционирования. Во-первых, примерно половина мощности тяговой нагрузки межподстанционной зоны потребляется через пост секционирования, а это значит, что КУ поста секционирования может контролировать и компенсировать только половину мощности межподстанционной зоны. Во-вторых, снижение потерь электроэнергии зависит только от компенсации реактивной мощности тяговой нагрузки, то есть КУ компенсирует только часть нагрузки. И в-третьих, с ростом пропускной способности электрифицированного участка снижается эффект регулирования мощности, так как уменьшается колебание тяговой нагрузки. Все это указывает на ограниченные возможности регулирования мощности установки компенсации на посту

секционирования с целью снижения потерь мощности в тяговой сети.

Для обоснования приведенных рассуждений исследуем степень снижения потерь мощности в тяговой сети при включении регулируемой и нерегулируемой установок компенсации реактивной мощности на посту секционирования. В схеме замещения распределенную тяговую нагрузку на полузоне между подстанцией и постом секционирования представим сосредоточенной у подстанции и у поста секционирования, аналогично сосредоточенные нагрузки покажем и на второй полузоне. Поскольку обычно пост секционирования расположен посередине межподстанционной зоны, то в схеме замещения нагрузка поста секционирования равна полусумме нагрузок подстанций. Будем считать, что суммарные потери мощности межподстанционной зоны также пополам распределены в схеме замещения между постом секционирования и подстанциями. Это значит, что КУ на посту секционирования может компенсировать только половину реактивной мощности межподстанционной зоны:

$$\Delta P_{\text{пс}} = \frac{\Delta P_{\text{тс}}}{2}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{пс}}$ — часть потерь мощности в межподстанционной зоне, относящейся к посту секционирования; $\Delta P_{\text{тс}}$ — полные потери мощности в тяговой сети межподстанционной зоны.

Потери мощности в тяговой сети с двусторонним питанием и КУ у поста секционирования рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{\text{ктс}} = \Delta P_{\text{тс}}^* - 10^3 r_{\text{тс}} \left\{ 2 \left(\frac{Q_{\text{к}}}{U} \right) \left[\left(1 - \frac{l_{\text{к}}}{l} \right) \sum_1^{n_{\text{к}}} \left(\frac{A_{\text{т}i} \sin \varphi_i}{TU} \right) l_{\text{o}i} + l_{\text{к}} \sum_{n_{\text{к}}+1}^n \left(\frac{A_{\text{т}i} \sin \varphi_i}{TU} \right) \left(1 - \frac{l_{\text{o}i}}{l} \right) \right] - \left(\frac{Q_{\text{к}}}{U} \right)^2 l_{\text{к}} \left(1 - \frac{l_{\text{к}}}{l} \right) \right\}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{тс}}^*$ — средние потери мощности в тяговой сети при отсутствии КУ, кВт [1, 4]. Эти потери определяют

■ E-mail: lagerman@mail.ru (Л. А. Герман)

по формулам, приведенным в [5]; $r_{\text{тс}}$ — удельное активное сопротивление тяговой сети, Ом/км; $Q_{\text{к}}$ — мощность КУ, Мвар; U — расчетное напряжение в тяговой сети, кВ (принимается 25 кВ); l , $l_{\text{к}}$, $l_{\text{о}}$ — расстояния соответственно между подстанциями, от подстанции до КУ, от подстанции до середины перегона, на котором находится КУ, км; n , $n_{\text{к}}$ — число перегонов на фидерной зоне и номер перегона, на котором находится КУ; $A_{\text{т}} \sin \varphi_i$ — расход реактивной энергии Мвар · ч от всех поездов за время T , ч, на перегоне i .

В первом слагаемом $\Delta P_{\text{тс}}^*$ в формуле (2) присутствуют потери как от активного тока, так и от реактивного, а во втором слагаемом (в фигурных скобках) — потери только от реактивных токов. Таким образом, в общем случае полные потери мощности в тяговой сети межподстанционной зоны можно выразить как

$$\Delta P_{\text{тс}} = (\Delta P_{\text{акт}} + \Delta P_{\text{реакт}}), \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{тс}}$ — суммарные (полные) потери мощности; $\Delta P_{\text{акт}}$ — составляющая потерь мощности от протекания активных мощностей; $\Delta P_{\text{реакт}}$ — то же от протекания реактивных мощностей.

Таким образом, формула (3) показывает, что потери мощности $\Delta P_{\text{тс}}$ в тяговых сетях переменного тока имеют две составляющие: активные потери $\Delta P_{\text{акт}}$ от передачи активной мощности $P_{\text{акт}}$ и активные потери $\Delta P_{\text{реакт}}$ от передачи реактивной (обменной) мощности $P_{\text{реакт}}$.

Проведем элементарные преобразования потерь мощности ΔP для расчета составляющих $\Delta P_{\text{акт}}$ и $\Delta P_{\text{реакт}}$. С этой целью суммарную активную и реактивную мощности поставим в соответствие со значениями $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{тс}} &= \Delta P_{\text{акт}} + \Delta P_{\text{реакт}} = (R/U^2)(P^2 + Q^2) = \\ &= (R/U^2)(P^2 + P^2 \operatorname{tg}^2 \varphi) = \Delta P_{\text{акт}} + \Delta P_{\text{акт}} \operatorname{tg}^2 \varphi = \\ &= \Delta P_{\text{акт}}(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

Отсюда потери от передачи активной мощности будут

$$\Delta P_{\text{акт}} = \frac{\Delta P_{\text{тс}}}{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}.$$

Однако $\operatorname{tg}^2 \varphi = \frac{\sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi}$, а $1 + \operatorname{tg}^2 \varphi = \frac{(\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)}{\cos^2 \varphi}$, поэтому

$$\Delta P_{\text{акт}} = \frac{\Delta P_{\text{тс}}}{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)} = \frac{\Delta P \cos^2 \varphi}{(\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)},$$

и окончательно

$$\Delta P_{\text{акт}} = \Delta P_{\text{тс}} \cos^2 \varphi. \quad (5)$$

Потери от передачи реактивной мощности будут равны

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{реакт}} &= \Delta P_{\text{тс}} - \Delta P_{\text{акт}} = \Delta P_{\text{тс}} - \Delta P_{\text{тс}} \cos^2 \varphi = \\ &= \Delta P_{\text{тс}}(1 - \cos^2 \varphi) = \Delta P_{\text{тс}} \sin^2 \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Итак, полученные выражения $\Delta P_{\text{реакт}} = \Delta P_{\text{тс}} \sin^2 \varphi$ и $\Delta P_{\text{акт}} = \Delta P_{\text{тс}} \cos^2 \varphi$ позволяют оценить эффективность снижения потерь мощности КУ при компенсации реактивной мощности.

Поскольку КУ влияет только на составляющую $\Delta P_{\text{реакт}}$, то при полной компенсации потерь от реактивных токов суммарные потери снизятся до $\Delta P_{\text{акт}}$, то есть в относительных единицах до

$$\alpha = \frac{\Delta P_{\text{акт}}}{(\Delta P_{\text{акт}} + \Delta P_{\text{реакт}})} = \cos^2 \varphi, \quad (7)$$

а снижение $\Delta P_{\text{реакт}}$ в относительных единицах определяется как

$$\delta = \sin^2 \varphi. \quad (8)$$

Полные потери мощности в относительных единицах равны 1: $\alpha + \delta = \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$.

Однако если расчет вести для КУ поста секционирования, то следует учесть, что к посту секционирования относится только половина потерь мощности в тяговой сети межподстанционной зоны.

В дальнейшем расчеты выполним в следующей последовательности. На первом этапе произведем расчеты для полузоны «подстанция — пост секционирования», то есть для части электроэнергии, относящейся только к посту секционирования (и соответственно для части потерь электроэнергии межподстанционной зоны). На втором этапе откорректируем полученные результаты с учетом потерь электроэнергии на всей межподстанционной зоне.

Сравнительная оценка эффективности регулируемых и нерегулируемых КУ в снижении потерь мощности. Выражение (6) для активных потерь от полного тока нагрузки (для действующего значения), относящейся к посту секционирования с КУ, можно преобразовать следующим образом:

$$\Delta P_{\text{реакт(рег)}} = \Delta P_{\text{тс}} \sin^2 \varphi = (I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2 R \sin^2 \varphi, \quad (9)$$

где $I_{\text{ср}}$ — среднее значение полного тока поста секционирования в схеме замещения и $k_{\text{эф}}$ — его коэффициент эффективности; R — активное сопротивление, определяющее потери мощности $\Delta P_{\text{реакт(рег)}}$.

Тогда при регулировании КУ на компенсацию текущих значений реактивных значений токов нагрузки потери мощности будут снижены в соответствии с формулой (9).

Здесь $(I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2$ — действующее значение тока реактивной мощности тяговой нагрузки, относящейся к посту секционирования, который полностью компенсируется регулируемой КУ.

Обычно нерегулируемое КУ настроено на компенсацию реактивных токов по их средним значениям [1], и в этом случае потери снизятся на

$$\Delta P_{\text{реакт(нр)}} = (I_{\text{ср}})^2 R \sin^2 \varphi. \quad (10)$$

Таким образом, при сравнении формул (9) и (10) видно, что при нерегулируемой КУ по сравнению с плавно регулируемой КУ некомпенсированными остаются активные потери от некомпенсированных реактивных нагрузок $\alpha P_{\text{реакт}}$:

$$\alpha P_{\text{реакт}} = \Delta P_{\text{реакт(рег)}} - \Delta P_{\text{реакт(нр)}} = (I_{\text{ср}})^2 (k_{\text{эф}}^2 - 1) R \sin^2 \varphi. \quad (11)$$

Если полные потери на межподстанционной зоне с учетом (1) равны

$$\Delta P_{\text{тс}} = 2 (I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2 R, \quad (12)$$

то регулируемая КУ снижает суммарные потери (%):

$$Y_{\text{рег}} = 100 (I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2 R \frac{\sin^2 \varphi}{2} (I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2 R = 100 \frac{\sin^2 \varphi}{2}, \quad (13)$$

а нерегулируемая КУ снижает суммарные потери (%):

$$Y_{\text{нр}} = 100 (I_{\text{ср}})^2 R \frac{\sin^2 \varphi}{2} (I_{\text{ср}} k_{\text{эф}})^2 R = 100 \frac{\sin^2 \varphi}{2} (k_{\text{эф}})^2. \quad (14)$$

Снижение потерь мощности δY регулируемой КУ в сравнении с нерегулируемой определяется разностью результатов, полученных по формулам (13) и (14).

Исходные данные для расчета были приняты на основании практических измерений [1].

При $\cos \varphi = 0,75 \dots 0,83$ ($\sin \varphi = 0,56 \dots 0,65$) $\sin^2 \varphi = 0,31 \dots 0,42$. Коэффициент эффективности тяговой нагрузки $k_{\text{эф}} = 1,1 \dots 1,25$.

С ростом пропускной способности участка железной дороги до 100–120 пар поездов в сутки коэффициент эффективности приближается к 1,1. С уменьшением пропускной способности и увеличением числа тяжеловесных поездов значение $k_{\text{эф}}$ приближается к 1,2...1,25 [1].

Результат расчетов по формулам (13) и (14):

$$Y_{\text{рег}} = 15,5 \dots 21 \%, \quad Y_{\text{нр}} = 12,8 \dots 13,4 \%, \\ \delta Y = 2,7 \dots 7,6 \%.$$

Поясним результаты расчета. Полные потери мощности в тяговой сети (принимая их за 100%) снижаются за счет плавно регулируемых КУ (в частности, статические генераторы реактивной мощности (СГРМ)) на 15,5...21 % в зависимости от заполнения пропускной способности на рассматриваемом участке. Этим самым полностью компенсируются потери мощности от реактивных составляющих токов нагрузки, отнесенных к посту секционирования. Это может быть достигнуто при условии настройки системы автоматического плавного регулирования мощности СГРМ на полную компенсацию реактивной мощности в тяговой сети, то есть СГРМ должен компенсировать каждое текущее значение реактивной мощности на межподстанционной зоне. К сожалению, такая автоматика еще не разработана, а существующая автоматика СГРМ настроена на соблюдение

заданной пропускной способности электрифицированного участка, что подтверждает необходимость создания алгоритма управления СГРМ для решения одновременно двух задач: соблюдения заданной пропускной способности и снижения потерь мощности в тяговой сети.

В то же время при использовании нерегулируемой КУ потери мощности снижаются на 12,8...13,4 %, то есть всего на 2,7...7,6 % меньше, чем при плавно регулируемой КУ (СГРМ). Это указывает на эффективность нерегулируемой КУ в снижении потерь электроэнергии.

В настоящее время программа КОРТЭС успешно рассчитывает потери электроэнергии в тяговой сети в различных режимах. Однако методика и программа вычисления потерь мощности в тяговой сети с установками СГРМ еще не разработаны, поэтому, используя расчеты потерь мощности по КОРТЭС с нерегулируемыми КУ, можно определить снижение потерь мощности по вышеуказанной методике при регулируемых КУ на посту секционирования. Важно, что результаты получены при оптимальной компенсации реактивной мощности, а именно при регулируемых КУ компенсируются текущие значения реактивной мощности, а при нерегулируемых КУ компенсируется среднее значение реактивной мощности.

Приведенные вычисления согласуются с предыдущими расчетами эффективности регулируемых КУ [1], где указано, что дополнительная экономия электроэнергии регулируемыми КУ не превышает 6–8 % относительно экономии, полученной нерегулируемыми КУ.

Реальная эффективность плавно регулируемых КУ (СГРМ). Основная задача регулируемой КУ на посту секционирования новых установок СГРМ — повышение пропускной способности участков железной дороги. Опыт работы СГРМ на железных дорогах подтверждает успешность выполнения этой задачи.

В настоящее время автоматику регулирования мощности СГРМ по опыту, например, Западно-Сибирской, Горьковской и Северной железных дорог настраивают на поддержание напряжения на шинах КУ около 27–28 кВ [6–8]. Однако при этом в большинстве случаев происходит перекомпенсация реактивной мощности в межподстанционной зоне и, как следствие, повышаются потери электроэнергии.

Именно поэтому весь вышеизложенный в статье материал предполагал использовать автоматику регулирования СГРМ для максимального снижения потерь электроэнергии. Тем не менее в реальности это не так, поскольку в эксплуатации ставится другая задача, а именно обеспечить повышенный уровень напряжения в тяговой сети до 27–28 кВ для пропуска тяжеловесных поездов [9, 10]. Вот почему в настоящее время необходимо решить вопрос о разработке

рациональной схемы регулирования мощности СГРМ, учитывающей проблемы и повышения пропускной способности участка, и снижения потерь электро-энергии.

Приведем пример вычисления потерь мощности для реального участка электроснабжения.

Расчет потерь мощности в тяговой сети участка Бумкомбинат — Лянгасово Горьковской железной дороги с постом секционирования на станции Поздино, на котором включен СГРМ. Исходные данные для расчета. Расход электроэнергии на участке Бумкомбинат — Лянгасово: $\Delta\mathcal{E} = 89\,589\,245 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Потери электроэнергии в тяговой сети без СГРМ на посту секционирования (ПС): $\Delta\mathcal{E} = 2\,598\,088 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ (по программе КОРТЭС потери электроэнергии в тяговой сети составляют 2,9 % от $\Delta\mathcal{E}$). Сопротивления активные от подстанций до ПС: $R_{\text{тс}} = 3,08 \text{ Ом}$. Расстояние между подстанциями 52,6 км, ПС находится посередине зоны.

Проведем расчеты в следующей последовательности.

1. Сформируем схему замещения для определения потерь мощности в тяговой сети с СГРМ. Всю распределенную нагрузку участка сосредоточим в узлах тяговых подстанций (по $\mathcal{E}/4$) и ПС ($\mathcal{E}/2$), то есть в схеме замещения предполагаем, что от подстанции и ПС потребляется одинаковая электроэнергия для тяговой нагрузки участка между ними (то есть половины зоны), и, кроме того, принимаем нагрузки на двух половинах зон одинаковыми.

Тогда электроэнергия, отдаваемая от ПС, равна $\mathcal{E}_{\text{пс}} = \mathcal{E}/2$.

2. Считаем, что суммарные потери электроэнергии в тяговой сети, отнесенные к узлам подстанций и ПС, пропорциональны расходам электроэнергии указанных узлов. Тогда к ПС относятся потери электроэнергии

$$\mathcal{E}_{\text{пс}} = 2\,598\,088/2 = 1\,298\,044 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

что соответствует средним значениям суммарных потерь мощности $\Delta P = \mathcal{E}_{\text{пс}}/T = 1\,298\,044/8760 = 148 \text{ кВт}$.

3. Суммарные активные потери мощности есть результат действия в контактной сети активных и реактивных мощностей. Точно так же активные потери мощности складываются из составляющих от активных и реактивных потоков мощности, то есть их можно разделить на составляющие от активных и реактивных потоков мощности (3).

По исходным данным $\sin \varphi = 0,62$, и тогда согласно (6)

$$\Delta P_{\text{реакт}} = (\sin \varphi)^2 \Delta P_{\text{тс}} = 0,62^2 \cdot 148 = 56,9 \text{ кВт}.$$

Итак, суммарная активная мощность потерь по реактивному потоку мощности, отнесенная к ПС Поздино, составляет 56,9 кВт.

Таким образом, СГРМ ПС Поздино должен полностью компенсировать реактивную мощность потерь, отнесенную к этому ПС. Это значит, что в каждый момент времени СГРМ по специальному алгоритму должен рассчитать необходимую генерируемую мощность для полной компенсации индуктивной компенсированной мощности тяговой нагрузки. Однако в настоящее время автоматика СГРМ работает по другому принципу — стабилизации напряжения на шинах ПС примерно на уровне 27 кВ. Следовательно, СГРМ при повышенных напряжениях будет работать в режиме перекомпенсации, то есть с увеличением потерь электроэнергии в тяговой сети. Исходя из вышеизложенного, с учетом потерь в СГРМ 45 кВт [9, 10] (что указано в заводской инструкции) и необходимой для компенсации реактивной мощности 56,9 кВт, а также принципа настройки СГРМ, можно сделать вывод: СГРМ не снижает потери мощности и даже увеличивает их в связи с указанной перекомпенсацией.

Выводы. 1. Предложена методика для расчета экономии электроэнергии в тяговой сети с применением плавно регулируемых и нерегулируемых установок компенсации реактивной мощности на посту секционирования.

2. Полные потери мощности в тяговой сети (принимаем за 100 %) снижаются за счет плавно регулируемых КУ (в частности, СГРМ) на 15,5...21 % в зависимости от заполнения пропускной способности на рассматриваемом участке. Однако возможно это только при условии настройки автоматики регулирования мощности СГРМ на полную компенсацию реактивной мощности, потребляемой от поста секционирования тяговой сети, а, к сожалению, такая автоматика СГРМ еще не разработана. В то же время при использовании нерегулируемой КУ потери мощности снижаются на 12,8...13,4 %, то есть на 2,7...7,6 % меньше, чем при плавно регулируемой КУ (СГРМ), что свидетельствует об эффективности нерегулируемых КУ постов секционирования в экономии электроэнергии.

3. Установки компенсации реактивной мощности СГРМ, включенные на постах секционирования для повышения пропускной способности железной дороги, поддерживают стабильное напряжение на шинах КУ примерно на уровне 27–28 кВ и при этих напряжениях работают в режиме перекомпенсации реактивной мощности. С учетом значительных потерь мощности в СГРМ можно утверждать, что СГРМ не снижает потери электроэнергии в тяговой сети.

4. Исследования показали необходимость создания нового алгоритма управления СГРМ для одновременного решения двух задач: повышения пропускной способности железной дороги и снижения потерь электроэнергии в тяговой сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулин Б. М., Герман Л. А., Николаев Г. А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1983. 183 с.
2. Герман Л. А. Эффективность регулируемых малоступенчатых фильтрокомпенсирующих установок в тяговой сети переменного тока // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 5. С. 288–294.
3. Герман Л. А., Серебряков А. С., Дулепов Д. Е. Фильтрокомпенсирующие установки в системах тягового электроснабжения железных дорог. Княгинино: НГИЭУ, 2017. 402 с.
4. Герман Л. А. Уменьшение потерь электроэнергии установками поперечной емкостной компенсации в тяговой сети // Труды МИИТа. М.: Транспорт, 1976. № 302. С. 69–82.
5. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.
6. Черемисин В. Т., Никонов А. В. Эффективность работы статического генератора реактивной мощности // Вестник РГУПС. 2016. № 2. С. 128–135.
7. Черемисин В. Т., Никонов А. В. Сравнение энергетических показателей регулируемых устройств поперечной компенсации реактивной мощности в условиях эксплуатации на постах секционирования // Транспорт Урала. 2018. № 1. С. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2018-1-30-34>.

8. Кремлев И. А., Никонов А. В., Квашук В. А. Эффективность применения устройств FACTS в системе электроснабжения железных дорог // Материалы Междунар. молодежного конгресса «Энергетическая безопасность». Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2017. С. 160–163.

9. Черемисин В. Т., Никонов А. В. Анализ потерь мощности в основном оборудовании статических тиристорных компенсаторов с учетом несинусоидальности напряжения и пути их снижения // Известия Транссиба. 2019. № 1. С. 54–63.

10. Никонов А. В. Потери мощности в основном оборудовании и энергопотребление собственных нужд СТАТКОМ // Материалы науч. конф. «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте». Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения. 2018. С. 343–349.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

GERMAN Леонид Абрамович,
д-р техн. наук, профессор,
СамГУПС, Нижегородский филиал

СЕРЕБРЯКОВ Александр Сергеевич,
д-р техн. наук, профессор,
СамГУПС, Нижегородский филиал

Статья поступила в редакцию 20.07.2019 г., принята к публикации 09.10.2019 г.

Reduction of electric power losses by the reactive power compensation unit at the point of AC electric traction network sectioning

L. A. GERMAN, A. S. SEREBRYAKOV

Samara State Transport University (SamGUPS), Nizhny Novgorod branch, Nizhny Novgorod, 603011, Russia

Abstract. Changes of electric traction network with regulated and not-regulated reactive power compensation units (CU) are required due to switching on the reactive power static generators at the AC electric traction network sectioning points the specifying calculations of the reactive power. The method of calculation of power losses in the traction network with regulated and not-regulated cross capacity compensation units at the sectioning point was developed. The main positive effect of CU at the sectioning point is increasing of the carrying capacity of the railroad sections. However, calculation of CU effectiveness for reduction of electric power losses, as well as calculation of continuously controlled CU requires appropriate calculations. It is demonstrated that CU effectiveness at the sectioning points of reactive power compensation is reduced in connection with distribution of the draft load; CU regulation effectiveness is also reduced as a response to increase of the carrying capacity of the railroad section, which allows assessing the proposed calculation formulae. Presented examples of calculation for the actual baseline data demonstrate that full losses in the traction network (assumed as 100%) can be reduced by using of CU of the sectioning point up to 21% maximum with continuously controlled units and up to 13.4% with uncontrolled CU. As automatics of the reactive power static generator is designed for increasing the carrying capacity of the railroad, its operation frequently complies with the reactive power overcompensation regime when losses in the traction network are increased.

Keywords: power losses; section pillar; power factor compensation; regulated settings; overcompensation

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-5-297-302>

REFERENCES

1. Borodulin B. M., German L. A., Nikolaev G. A. *Kondensatornyye ustanovki elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Capacitor units of electric railroads]. Moscow, Transport Publ., 1983, 183 p.
2. German L. A. *Effektivnost' reguliruyemykh malostupenchatykh fil'trokompensiruyushchikh ustanovok v tyagovoy seti peremennogo toka* [Efficiency of adjustable few-stage filter compensating installations in AC traction network]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 5, pp. 288–294.
3. German L. A., Serebryakov A. S., Dulepov D. E. *Fil'trokompensiruyushchiye ustanovki v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog* [Compensation filter units in the systems of the railroads traction electric power supply]. Knyaginino, NGIEU, 2017, 402 p.
4. German L. A. *Umen'sheniye poter' elektroenergii ustanovkami poperechnoy emkostnoy kompensatsii v tyagovoy seti* [Reduction of losses of electric power by the cross capacity compensation units in the electric traction network]. Proc. of MIIT. Moscow, Transport Publ., 1976, no. 302, pp. 69–82.
5. Markvardt K. G. *Elektrosnabzheniye elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Railroads electric power supply]. Moscow, Transport Publ., 1982, 528 p.
6. Cheremisin V. T., Nikonov A. V. *Effektivnost' raboty staticheskogo generatora reaktivnoy moshchnosti* [Evaluation of static energy generator reactive power]. Vestnik RUGPS [Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya], 2016, no. 2, pp. 128–135.
7. Cheremisin V. T., Nikonov A. V. *Sravneniye energeticheskikh pokazateley reguliruyemykh ustroystv poperechnoy kompensatsii*

реактивной мощности в условиях эксплуатации на постах секционирования [Comparison of energy indices of regulated devices for reactive shunt compensation in conditions of operation in section switch boxes]. Transport of the Urals, 2018, no. 1, pp. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2018-1-30-34>.

8. Kremlev I. A., Nikonov A. V., Kvashchuk V. A. *Effektivnost' primeneniya ustroystv FACTS v sisteme elektroobrazovaniya zheleznykh dorog* [Effectiveness of use of FACTS units in the system of railroads electric power supply]. Materials of the international youth congress "Energy safety". Kursk, South-West State University, 2017, pp. 160–163.

9. Cheremisin V. T., Nikonov A. V. *Analiz poter' moshchnosti v osnovnom oborudovanii staticheskikh tiristornykh kompensatorov s uchetom nesinusoidal'nosti napryazheniya i puti ikh snizheniya* [Analysis of power losses in the main equipment static varcompensators taking into account the non-sinusoidal voltages and ways of its reduction]. Izvestia Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies], 2019, no. 1, pp. 54–63.

E-mail: lagerman@mail.ru (L. A. German)

10. Nikonov A. V. *Poteri moshchnosti v osnovnom oborudovanii i energopotrebleniye sobstvennykh nuzhd STATKOM* [Losses of power in the main equipment and auxiliary power consumption by reactive power static compensator]. Innovation projects and technologies in education, industry and transport. Coll. of materials of the scientific conf. Omsk, Omsk State Transport University, 2018, pp. 343–349.

ABOUT THE AUTHORS

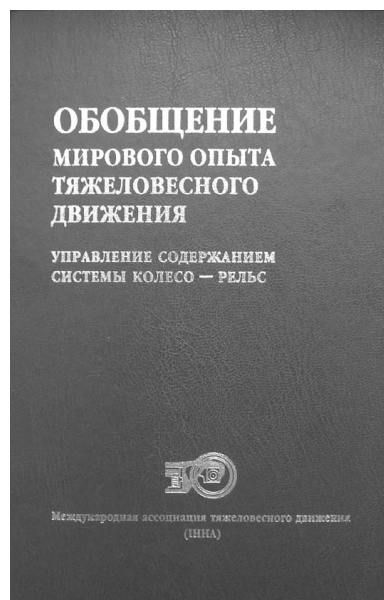
Leonid A. GERMAN,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Samara State Transport University,
Nizhniy Novgorod branch

Aleksander S. SEREBRYAKOV,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Samara State Transport University,
Nizhniy Novgorod branch

Received 20.07.2019

Accepted 09.10.2019

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ



Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо—рельс: пер. с англ. / под ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.

Вопросы содержания системы колесо—рельс, являющейся основной для железнодорожного транспорта, приобретают все большее значение по мере роста грузонапряженности, массы и длины поездов, осевых нагрузок и необходимости обеспечивать экономически оправданную эксплуатацию железнодорожных систем. Для лучшего понимания происходящих процессов в данной системе рассмотрены фундаментальные вопросы взаимодействия железнодорожного экипажа и пути, механика контактного взаимодействия колеса и рельса, виды и причины возникновения дефектов в элементах системы, применяемые материалы и перспективы их совершенствования. Описаны современные системы автоматизированного мониторинга состояния подвижного состава и пути. Большое внимание уделено используемым в разных странах подходам и технологиям текущего содержания подвижного состава и пути, обеспечивающим снижение стоимости жизненного цикла. Отдельная глава посвящена вопросам безопасности, анализу причин и способам предотвращения сходов подвижного состава. Изложен опыт железных дорог разных стран с тяжеловесным движением по выявлению проблем, способам реализации решений и достигнутым

результатам. В конце книги приведен словарь используемых терминов, их эквивалентов на английском языке, определений, расширяющих термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.