

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ ГОРЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Андрей Александрович Батов, к.э.н., генеральный директор МУП "ИжГорЭлектроТранс", г. Ижевск
Александр Николаевич Лекторский, технический директор МУП "ИжГорЭлектроТранс", г. Ижевск
Дмитрий Степанович Лучкин, инженер-программист
Степан Лазаревич Лучкин, к.т.н., Заслуженный изобретатель РФ, инженер-электрик

Статья посвящена созданному на муниципальном предприятии "ИжГорЭлектроТранс" аппаратно-программному комплексу измерения потерь в контактно-рельсовой сети трамвая. Система может найти применение в троллейбусных сетях, на железнодорожном электротранспорте, в метро.

This article is devoted to the Apparatus-Programmed System for the resistance of losses measurement in the Contact-Tramrails Network. This system was made in the municipal enterprise "IzhGorElectroTrans". This system may be used in trolleybus electric networks, in the railway electro transport, and also in the metropolitan railway.

Ключевые слова: электротранспорт, тяговые сети, измерения.
 Keywords: Electrotransport, Electric traction networks, Measurements.



Рис. 1 Дуга, образовавшаяся на месте стыка рельсов

Затраты на электроэнергию составляют львиную долю в стоимости проезда на любом виде электротранспорта. Поэтому экономия электроэнергии - одно из основных направлений повышения эффективности электротранспорта. Но чтобы экономить, надо знать, где и сколько теряем. На фотографии (рис. 1), взятой из интернета, видна дуга, образовавшаяся между нарушенными соединениями стыка рельсов. Можно заметить, что по рельсовому пути в местах стыков даже зимой образуются проталины. Но это только видимые проявления потерь.

"Инструкция по ограничению токов утечки из рельсов трамвая" изд. 1983 г. [1] предлагает статистические методы измерения потерь на основе суммарных затрат на электроэнергию по месяцам, за год и сравнение их с допустимыми. Допустимыми называют потери 26 % электроэнергии [2]. В "инструкции" предлагается вычислять потери в рельсах по току в рельсах и падению напряжения на участках рельсового пути, в том числе стыках, где рекомендуется измерять качество стыков с помощью летучих схем - стыкомеров, что непроизводительно и затратно.

На выставке "ЭлектроТранс 2013" [3] НПП "Энергия" были представлены разработки в области повышения энергоэффективности электрического транспорта, в том числе, выпрямительные агрегаты с повышенным КПД, а также система диагностики тяговой сети, устанавливаемая на тяговых подстанциях и решающая задачу защиты от аварий, а также измерения потерь на собственно подстанциях.

Вниманию заинтересованных специалистов предлагается созданный на предприятии "ИжГорЭ-

лектроТранс" аппаратно-программный комплекс, позволяющий охватить измерениями всю сеть силового питания, а именно тяговую подстанцию (ТПС), кабели-фидеры, подводящие электроэнергию от ТПС к контактной сети (к.с.) и отводящие ток от рельсов, а также собственно контактную и рельсовую сеть (р.с.) трамвая.

Комплекс предварительно испытан на предприятии, где можно более подробно ознакомиться с результатами.

В системе главным измеряемым параметром является суммарное сопротивление R_{Σ} потерь в отдельных точках контактно-рельсовой сети.

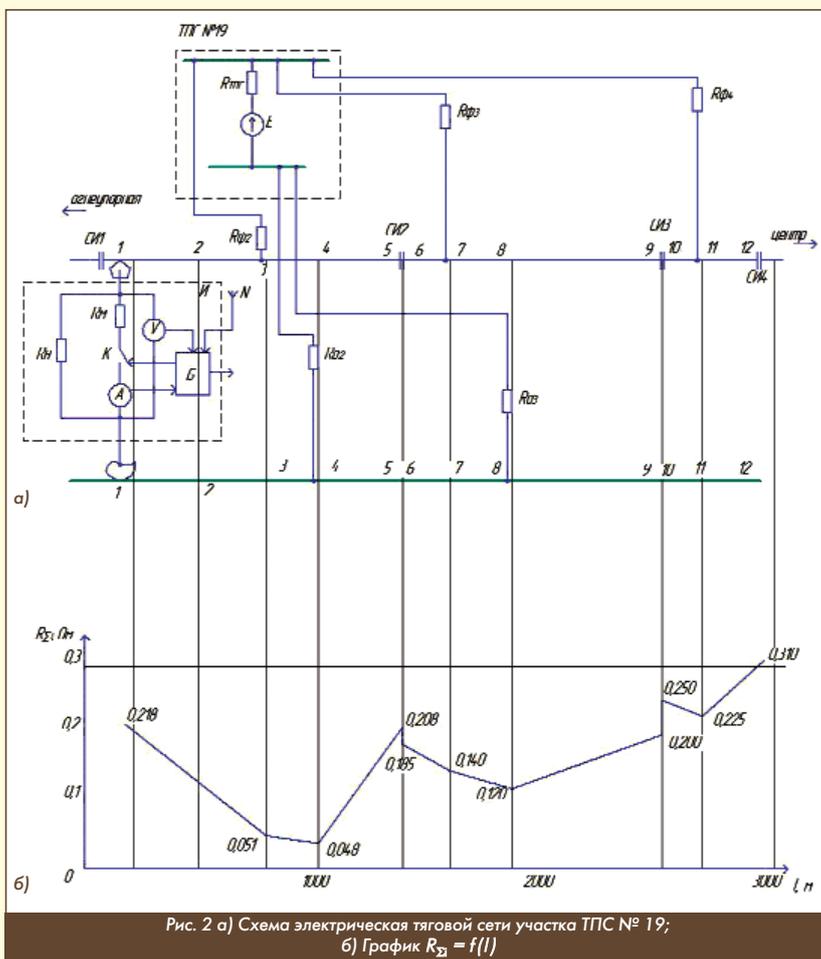


Рис. 2 а) Схема электрическая тяговой сети участка ТПС № 19;
 б) График $R_{\Sigma} = f(l)$

На рис. 2 приведена электрическая схема (а) диагностируемой тяговой сети, измеритель I сопротивления $R_{\Sigma i}$ и график (б), построенный по результатам измерений $R_{\Sigma i}$ на участке питания сети от ТПС № 19. Обозначено: ТПС - тяговая подстанция с выпрямительным агрегатом - генератором постоянного напряжения с эдс E и эквивалентным внутренним сопротивлением $R_{\text{ТПС}}$; "+Ш" и "-Ш" - шины ТПС, к которым присоединены три фидера 192, 193, 194 питания к.с. с собственными сопротивлениями $R_{\phi 2}, R_{\phi 3}, R_{\phi 4}$, соединенные в точках 3, 7, 11 с к.с., а также фидеры о-192, о-193 обратного тока с сопротивлениями R_{o2} и R_{o3} , соединенные в точках 4 и 8 с р.с. Три фидерных участка района питания ТПС № 19, разделены секционными изоляторами СИ1...СИ4. 1 - 12 - диагностируемые точки к.с., им соответствуют точки на р.с.

О выборе точек измерения. Целесообразно предварительно назначать точки измерения - контрольные точки (КТ), к которым относятся точки присоединения фидеров, точки непосредственно прилегающие к секционным изоляторам.

Если после измерений в КТ не обнаружены значения $R_{\Sigma i}$, выходящие за допустимый предел, секция считается исправной, в противном случае после анализа результатов следует на проблемном отрезке выполнить более частые измерения для локализации неисправного отрезка к.с. или р.с.

Измеритель I , размещен в салоне трамвая-лаборатории, он содержит модулирующее сопротивление R_m , вольтметр V , амперметр A , ключ K , ГЛОНАСС-модуль НАВИА ML8088S с антенной N , микроконтроллер и персональный компьютер (ПК).

Микроконтроллер предназначен для управления процессом измерения, передачи результатов измерения на ПК. ПК выполняет последующую обработку, отображает и сохраняет в памяти результаты измерений, а также информирует оператора о приближении к точкам, в которых необходимо проводить измерения.

С помощью ГЛОНАСС-модуля вычисляются текущие координаты вагон-лаборатории в реальном масштабе времени.

В эксперименте трамвая-лаборатория продвигается от точки 1 к точке 2 и т.д. В диагностируемых точках останавливается, и в течение примерно двух минут измеряется $R_{\Sigma i}$. О приближении к месту измерения (останова) программа сообщает оператору на основе данных, полученных от модуля ГЛОНАСС. Оператор сообщает водителю о приближении к месту измерения и дает команду остановки. Вагон останавливается, оператор нажимает кнопки на экране ПК запускает процесс измерения.

Измерения $R_{\Sigma i}$ в точке 1 производится следующим образом (рис. 2а). При включении рабочего режима в измерительной цепи протекает ток по цепи: +Е, шина "+Ш" на ТПС, фидер 192 питания к.с. с сопротивлением $R_{\phi 2}$, участок 3-1 к.с. с сопротивлением r_{kc} (3-1), пантограф, нагрузка R_n , измеритель I , ось колес со щетками, проводящий обод колеса, участок рельсовой сети 1-4 с сопротивлением r_{pc} (1-4), фидер о192 обратного тока с сопротивлением R_{o2} , шина "-Ш" ТПС, -Е.

Из блока Б на вход драйвера ключа K поступает управляющий сигнал U_y (рис. 2 а), который включает и выключает нагрузку R_m .

В результате напряжение U_{kc} контактной сети модулируется (рис. 3а).

Вольтметром V измеряется U_{kc} в точках t_1 и t_2 каждого периода, синхронно во времени амперметром A измеряется приращение ΔI тока в момент времени t_2 . Процессы поясняются на рис. 3б, где изображена нагрузочная характеристика генератора напряжения.

Результаты измерения $U_{\text{выкл}}, U_{\text{вкл}}, \Delta I$ (рис. 3а, 3б) от вольтметра и амперметра поступают в блок Б, где вычисляется $R_{\Sigma 1}$ по формуле закона Ома:

$$R_{\Sigma 1} = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \tag{1}$$

где $R_{\Sigma 1} = R_{\text{ТПС}} + R_{\phi 2} + R_{o2} + r_{kc}(1-3) + r_{pc}(1-4).$ (2)

Сопротивления $R_{\text{ТПС}}, R_{\phi 2}, R_{o2}$, изменяются во времени значительно медленнее сопротивлений $r_{kc}(1-3), r_{pc}(1-4)$. $R_{\text{ТПС}}, R_{\phi 2}, R_{o2}$ измеряются заранее, вносятся в базу данных и доступны для вычислений в вагон-лаборатории.

Обозначим

$$r_{kc}(1-3) = \rho_{kc}(1-3) \cdot l_{1-3},$$

$$r_{pc}(1-4) = \rho_{pc}(1-4) \cdot l_{1-4},$$

где $\rho_{kc}(1-3)$ сопротивление погонного метра к.с., $\rho_{pc}(1-4)$ - сопротивление погонного метра р.с., l_{1-3}, l_{1-4} - длины участков 1-3, 1-4.

Тогда (2) будет иметь вид:

$$R_{\Sigma 1} = R_{\text{ТПС}} + R_{\phi 2} + R_{o2} + \rho_{kc}(1-3) \cdot l_{1-3} + \rho_{pc}(1-4) \cdot l_{1-4}. \tag{3}$$

Для точки 2

$$R_{\Sigma 2} = R_{\text{ТПС}} + R_{\phi 2} + R_{o2} + \rho_{kc}(2-3) \cdot l_{2-3} + \rho_{pc}(2-4) \cdot l_{2-4}. \tag{4}$$

Вычтем (4) из (3), после упрощения получим

$$\frac{R_{\Sigma 1} - R_{\Sigma 2}}{l_{(1-2)}} = (\rho_{kc}(1-2) + \rho_{pc}(1-2)). \tag{5}$$

Для участка 3-4 справедливо соотношение

$$\frac{R_{\Sigma 3} - R_{\Sigma 4}}{l_{(3-4)}} = (\rho_{pc}(3-4) - \rho_{kc}(3-4)). \tag{6}$$

Левая часть равенств (5) и (6) представляет собою измеренный наклон линии $R_{\Sigma i} = f(l)$ на участке 1-2, 3-4. Все прямолинейные участки имеют наклон, равный либо сумме погонных сопротивлений к.с. и р.с., либо их разности.

Накануне испытаний на основании электрической схемы участка тяговой сети (рис. 2а) можно создать исправную модель объекта диагностики [4], которая соответствует следующим закономерностям:

1. Если при переходе от одной точки к другой, например 1 \rightarrow 2, оба сопротивления к.с. и р.с. уменьшаются, то однозначно уменьшится наклон функции $R_{\Sigma i} = f(l)$;
2. Если оба сопротивления увеличиваются, то однозначно увеличивается наклон функции $R_{\Sigma i}$, например, при переходе (4 \rightarrow 5);
3. Если предположить, что в исправной линии ρ_{kc} и ρ_{pc} в пределах подстанции примерно постоянны, то наклон функций п.1 и п.2 следует ожидать одинаковым по величине и противоположным по знаку;
4. На участках, где составляющая r_{kc} растет, а r_{pc} уменьшается, или, наоборот, при переходах (3 \rightarrow 4), (6 \rightarrow 7), (10 \rightarrow 11) наклон линий существенно меньше, нежели в пп.1 и 2. При этом линии могут иметь положительный или отрицательный коэффициент наклона в зависимости от преобладания ρ_{kc} или ρ_{pc} , либо коэффициент наклона равен 0 при $\rho_{pc} = \rho_{kc}$.
- На практике пока везде наблюдался вариант $\rho_{pc} > \rho_{kc}$ т.е., удельные потери в рельсах преобладают;
5. В точках, непосредственно прилегающих к СИ с разных сторон, имеет место, как правило, сдвиг функции $R_{\Sigma i} = f(l_i)$, обусловленный разными сопротивлениями соседних фидеров питания, а так же разными участками к.с. и р.с.

Практические измерения

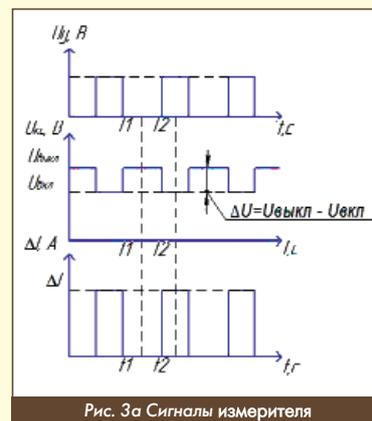


Рис. 3а Сигналы измерителя



Рис. 3б Нагрузочная характеристика генератора напряжения с ЭДС E

подтверждают это положение.

Если допустить, что погонные сопротивления к.с. (р.с.) соседних участков равны порознь между собою, то совместное решение (5), (6) позволяет найти как $\rho_{кст}$ так и $\rho_{рс}$ участков.

Выводы:

1. По результатам измерения главного параметра $R_{\Sigma 1}$ в контрольных точках предлагаемый метод позволяет вычислить и погонные сопротивления как контактной, так и рельсовой сети, а значит, при сравнении их с номинальными значениями, взятыми из эксплуатационной документации, определить степень износа провода к.с. и рельса;

По нашему мнению, использование предложенной системы диагностики позволяет достаточно быстро и объективно оценивать состояние всей тяговой сети и проводить своевременный ремонт, исключая тем самым потери электроэнергии и перебои в работе электротранспорта;

2. Кроме того, при создании базы данных диагностируемых параметров и соответствующей программы появляется возможность наблюдать во времени изменение $R_{\Sigma 1}$ и сопротивления компонентов: $R_{тпс}, R_{\phi}, \rho_{кст}, \rho_{рс}$ в контрольных точках и прогнозировать наступающие их критические состояния;

3. Отметим доступность предлагаемого метода измерения и небольшие затраты на его реализацию. **П**

Литература

1. Инструкция по ограничению токов утечки из рельсов трамвая. АКХ им. К.Д. Памфилова М. 1983г.
2. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса Загайнов Н.А., Финкельштейн Б.С., М. Транспорт, 1978.
3. Международная выставка. ЭлектроТранс 2013. www.electrotrans-expo.ru
4. Основы технической диагностики под редакцией Пархоменко П.П., М., "Энергия", 1976.

Связь с автором: dmitriyluchkin@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ

Объединенная авиастроительная корпорация и Научный совет Российской академии наук по проблемам использования сверхпроводимости в энергетике обсудили применение новых технологий в современных самолетах.

Сверхпроводимость характеризуется крайне низким уровнем потерь энергии и позволяет использовать более компактные по сравнению с обычными приборы и машины. Разработки востребованы в современных высокотехнологичных отраслях промышленности - авиации, кораблестроении и ракетостроении.

В совещании приняли участие представители всех ключевых предприятий ОАК - ОАО "Компания "Сухой", ОАО "Корпорация "Иркут", ОАО "РСК "МиГ", ОАО "Туполев" и ОАО "Ил", а также специалисты госкорпораций "Ростех" и "Росатом". Среди крупнейших научных учреждений - Курчатовский центр, Крыловский государственный научный центр, Московский госуниверситет, Московский авиационный институт, Санкт-Петербургский госуниверситет аэрокосмического приборостроения.

Во время совещания рассматривались последние разработки в области сверхпро-

водимости, кроме того прошло неформальное обсуждение существующих проблем и дальнейшей кооперации.

"Развитие исследований по созданию электрического самолета с применением сверхпроводниковых технологий показало целесообразность и плодотворность совместных работ ученых РАН и авиационной промышленности в этом перспективном научно-техническом направлении. Сотрудничество между промышленностью и учеными необходимо расширять", - рассказал академик, председатель научного совета РАН по сверхпроводимости Борис Каторгин. **П**

XIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2014
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

18 - 21 НОЯБРЯ



Генеральные информационные партнеры:
Украинская промышленность
Технический партнер:
Kamit



ufi
Approved
Event

ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Министерства промышленной политики Украины
Украинской Национальной Компании
"Укрстанкоинструмент"



Международный выставочный центр
Украина, 02660, Киев
Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"
☎ (044) 201-11-65, 201-11-56
e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua