RAPID ANALYSIS OF TRACTION NETWORK ENERGY EFFICIENCY USING MICROCONTROLLERS.

S.A. Norzhigitov, S.S. Saidivaliev, L.X. Bazarov
Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Annotation. Currently, digitalization of the traction power supply system of the country is carried out by the implementation of the SCADA system. However, current SCADA projects do not include data processing from electric rolling stock. The proposed version of the monitoring system processes data from electric locomotives and traction substations. As a result, it is possible to observe changes in electrical parameters of the traction network in real time. The main sources of the processed information are the instantaneous values of current and voltage on electric locomotives and traction substations. The instantaneous values of analog signals are converted into digital signals, then processed in microcontrollers and transmitted to the dispatching center for final processing.

Keywords. Microcontroller, data transmission, traction network, electric rolling stock, monitoring system, feeder zone, geolocation.

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ.

С.А. Норжигитов, С.С. Сайдивалиев, Л.Х. Базаров
Ташкентский государственный транспортный университет

Аннотация. В настоящее время, цифровизация системы тягового электроснабжения страны осуществляется внедрением системы SCADA. Однако в реализуемых проектах SCADA не предусматривается обработка данных с электроподвижных составов. Предлагаемом варианте системы мониторинга обрабатывается данные с электровозов и тяговых подстанций. В результате этого, появляется возможность в режиме реального времени наблюдать за изменением электрических параметров тяговой сети. Основными источниками обрабатываемой информации являются мгновенные значении тока и напряжения на электровозах и тяговых подстанциях. Мгновенные значении аналоговых сигналов преобразуются в цифровые, затем обрабатываются в микроконтроллерах и передаются в диспетчерский центр для окончательной обработки.

Ключевые слова. Микроконтроллер, передача данных, тяговая сеть, электроподвижной состав, система мониторинга, фидерная зона, геолокация.

Реализация структуры. Данную задачу можно реализовать при помощи программируемых логических контроллеров (ПЛК) с периферийными устройствами (Рис-1).

Для этого, на каждом ЭПС устанавливается ПЛК, модули АЦП, GPS и GSM. С измерительных трансформаторов тока и напряжения ЭПС, синусоидальные сигналы поступают в N-битный АЦП и в цифровом виде с тактовой частотой F-Гц передаются к цифровым портам ПЛК. Разрядность АЦП и тактовая частота определяется в соответствии с возможностями ПЛК.

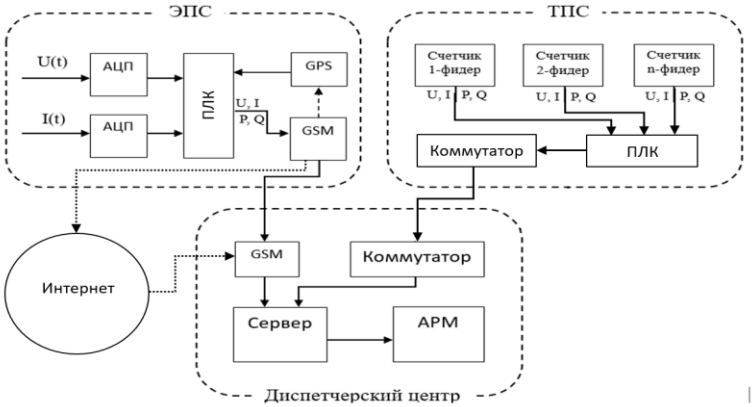

Рис-1. Последовательность передачи данных в диспетчерский центр.

В целях гальванической развязки и снижения уровня напряжения, целесообразно установить конденсатор и делитель между измерительными трансформаторами и АЦП. Далее, ПЛК преобразует дискретные значения тока и напряжения в эффективные значения по формулам:

$$I_Э = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)d(t)}, \quad (1)$$

$$U_Э = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)d(t)}, \quad (2)$$

где i – дискретное значение тока, А;

u – дискретное значение напряжения, кВ;

T – период синусоиды тока и напряжения, T=0,02 с.

Эффективные значении тока и напряжения можно определит более простым способом. То есть, делением амплитудного значения на $\sqrt{2}$. Но, в этом способе объективность измерения ухудшается с ростом высших гармоник.

Также, ПЛК производит расчет активной и реактивной энергии. Расчет можно осуществлять двумя способами. При первом способе сперва обрабатывается аналоговые сигналы тока и напряжения для определения угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения. Для этого можно пользоваться функцией микроконтроллера ZERO CROSS DETECTOR, которая фиксирует моменты, когда ток и напряжения достигают нулевые значении (Рис.2).

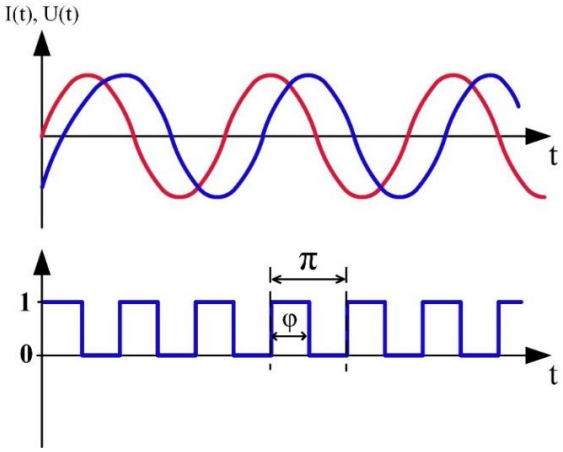

Рис-2. Определение угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения с использованием функции ZERO CROSS DETECTOR

По ширине импульсов, формированных между нулевыми значениями определяется угол сдвига фаз. После этого, значении активной и реактивной мощности можно определит по формулам:

$$P = U_Э I_Э \cos\varphi \quad (3)$$

$$Q = U_Э I_Э \sin\varphi \quad (4)$$

При втором способе, по мгновенным значениям тока и напряжения АЦП, микроконтроллером производится расчет активной и реактивной мощности по нижеследующим формулам:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)i(t)dt, \quad (5)$$

$$Q = \sqrt{(U_Э I_Э)^2 - P^2}, \quad (6)$$

Эффективные значения тока и напряжения записываются в оперативный память с указанием номера фидерной зоны. Присваиваемый номер фидерной зоны определяется исходя из поступающих данных геолокации от модуля GPS. Для этого, в процессе проектирования системы, определяется диапазон долготы и широты каждой фидерной зоны и присваивается им уникальные идентификационные номера (рис.3).

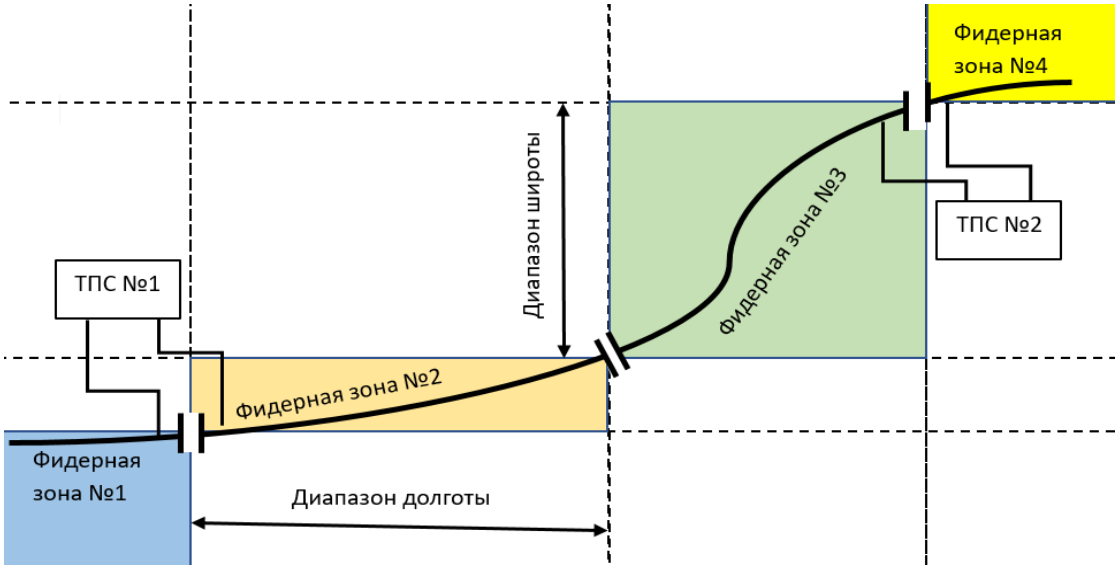

Рис-3. Разделение фидерных зон ТС по географическим координатам.

Номера фидерных зон с диапазонами долготы и широты загружаются в программную среду ПЛК в качестве исходных данных. Аналогичным образом формируется массив данных активной и реактивной энергии. Во время перехода ЭПС с одной фидерной зоны в другую, сработает функция прерывания и очередные поступающие данные относятся к следующей фидерной зоне. Формированные данные по интерфейсу UART передаются модулю GSM. Далее, данные передаются через беспроводную сеть принимающему модулю GSM, которая расположена в диспетчерском центре. Передачу по беспроводной сети можно осуществить разными способами. Экономически целесообразным способом является передача данных через интернет по каналу GPRS. Однако, в некоторых регионах связь по каналу GPRS нестабильная, где предпочтительно использовать голосовой канал или SMS сообщения. При программирования ПЛК можно добавить функцию, в котором осуществляется измерение параметров при обратном направлении мощности, то есть при эксплуатации ЭПС в режиме рекуперативного торможения.

Сбор, обработка и передача данных на ТПС осуществляется относительно проще. Цифровые значении тока, напряжения, активной и реактивной энергии формируются в самых приборах учета электроэнергии, которые установлены на питающих выводах каждой

фидерной зоны. Данные поступают в ПЛК, где цифровые сигналы обрабатываются с добавлением битов информаций о номере фидерной зоны. После чего, через коммутатор, пакет данных передаются по проводной сети к коммутатору в диспетчерском центре.

Стоит отметит, что процесс сбора, обработки данных можно организовать с различной тактовой частотой. Если требуется получит результаты с высокой точностью, необходимо увеличит частоту и разрядность цифровых устройств, которое в свою очередь приводить к удорожанию проекта. Поэтому, архитектуру проекта следует создать в соответствии с заключением технико-экономического анализа.

В диспетчерском центре, все поступающие данные обрабатывается в сервере. Данные с ЭПС и ТПС распределяются по номеру фидерной зоны на отдельные файлы. То есть, для каждой фидерной зоны создается именной файл, где непрерывно поступающими массивами данных заполняется специальная таблица EXCEL (рис.3).

Данные фидерной зоны №_____

Дата, время	Параметры источника				Параметры потребителя				Потери на фидерной зоне		Нештатные события
	I	U	W_p	W_q	I	U	W_p	W_q	ΔU	ΔW	

Рис.4. Образец таблицы, где записывается данные определенной фидерной зоны.

На основе полученной информации, за выбранный период времени, процессор в диспетчерском центре выполняет расчет потерь напряжения и активной мощности для каждой фидерной зоны по формулам:

$$\Delta U = U_{\text{п}} - U_{\text{мин}}\ , \tag{5}$$

$$\Delta W = \sum W_{p1} - \sum W_{p2}\ , \tag{6}$$

где $U_{\text{п}}$ - средняя напряжения на шинах ТПС за выбранный период времени;

$U_{\text{мин}}$ - минимальный уровень напряжения на ЭПС за выбранный период времени;

ΣW_{p1} - суммарная активная энергия, зафиксированная счетчиком ТПС за выбранный период времени;

ΣW_{p1} - суммарная активная энергия, полученная со всеми ЭПС в пределах данной фидерной зоны за выбранный период времени.

Полученные результаты расчетов записываются в таблицу.

Выводы. Осуществление мониторинга подобным способом позволить более точно определит места, где происходит наибольшие потери напряжения и мощности. На основе этого, можем оптимально выбрать место установки и параметры компенсирующих устройств. Также, можем определит места, где неэффективно используется энергия вырабатываемое при рекуперативном торможении и исходя из этого откорректировать графики движения поездов.

В данную систему мониторинга можно дополнительно внедрит функцию, которая позволит мгновенно оповестит диспетчерский персонал о возникновении нестандартных ситуаций на ЭПС такие как, исчезновение напряжения, перенапряжение, перегруз, короткое замыкание и т.д. Физическая реализация системы относительно проста и не требует дорогостоящих оборудований.

Список литературы

1. Э.В.Тер-Оганов, А.А. Пышкин, Электроснабжение жлезных дорог // Екатеринбург УрГУПС, 2014. – 432 с.

2. С.В. Ухина, Электроснабжения электроподвижного состава// учеб. Пособие. – М.: ФГБОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодарожном транспорте”, 2016. – 187 с.

3. И.А. Бершадский, Микроконтроллеры и микропроцессорные устройства в электроэнергетике// учебное пособие – Москва; Вологда: инфра-инженерия, 2022. – 216 с.

4. В.А. Петин, Новый возможности Arduino, ESP, Raspberry Pi в проектах IoT. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 216 с.

5. А.С. Волегов, Д.С. Незнахин, Е.А. Степанова, Метралогия и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин: учеб. Пособие для СПО– М.:Издательство Юрайт, 2019; Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та.–103 с.