

С.В.Иванова, В.В. Коренский, канд. техн. наук

(Россия, Мирный, политехнический институт)

М.М.Белый, канд. техн. наук

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО АККУМУЛЯТОРА В ТЯГОВОЙ БАТАРЕЕ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Значительное место в технологии добычи полезного ископаемого подземным способом занимает электровозный транспорт. В шахтах, опасных по газу и пыли, применяют, в основном, аккумуляторные электровозы. Опыт работы подземного транспорта с аккумуляторными электровозами показывает, что в эксплуатации находится значительная часть аккумуляторных батарей с низким сопротивлением изоляции. Состояние изоляции тяговых аккумуляторных батарей, эксплуатируемых на шахтах, неудовлетворительное. Сопротивление изоляции изменяется в широких пределах – от 0,4 до 500 кОм при норме для тяговых батарей типа 112 ТЖН–350 10 кОм. Следовательно, фактическое сопротивление изоляции батарей на отдельных аккумуляторных электровозах ниже предельно допустимых в десятки раз. Эксплуатация таких тяговых батарей приводит к значительным токам утечки, которые, в ряде случаев, превышают допустимые и могут явиться причиной пожаров и взрывов. Наличие в эксплуатации таких аккумуляторных батарей вызвано несвоевременным или некачественным ремонтом их изоляции из-за отсутствия измерительных средств диагностики повреждений, а также приборов измерения сопротивления изоляции и запасных изоляционных средств. Применяемый метод поиска и обнаружения аккумулятора с поврежденной изоляцией в тяговой батарее достаточно трудоемкий и не позволяет определить конкретное значение сопротивления изоляции.

Исследования в области эксплуатации рудничной электровозной откатки показывают, что 55–65 % времени ее простоя приходится на отыскание повреждения, а 35–45 % – на его устранение. Таким образом, один из путей уменьшения времени простоя рудничной откатки аккумуляторными электровозами – разработка и применение устройства, позволяющего быстро и точно произвести поиск поврежденного элемента в аккумуляторной батарее (АкБ). Проведение систематических профилактических осмотров и испытаний, уменьшает количество отказов в результате повреждений элементов АкБ, но не исключает их возникновения в процессе работы, а следовательно и затрат времени на их устранение.

Поэтому радикальным средством предупреждения повреждений является применение высокоточного и чувствительного устройства.

Рекомендуемые МакНИИ приборы типа М–4124 для измерения полного сопротивления изоляции тяговой батареи, с использованием оперативного переменного тока, практически не применяются из-за трудности приобретения гальванических элементов для блока питания прибора.

Чаще всего ремонтный персонал измеряет вольтметром в шахтных условиях только напряжения полюсов относительно корпуса батарейного ящика U+ и U- и по их значениям судит о состоянии изоляции тяговой батареи. Такой метод оценки сопротивления изоляции весьма приближенный, субъективный и позволяет судить только о перекосе сопротивлений изоляции по полюсам.

Для поиска аккумуляторов с поврежденной изоляцией батарею делят на равные части путем снятия перемычек между аккумуляторами. Затем измеряют сопротивление изоляции отдельных частей батареи. Такой способ обнаружения аккумуляторов с поврежденной изоляцией трудоемок и требует больших затрат времени. Так, в тяговой батарее типа 112 ТЖН–350 при одном аккумуляторе с поврежденной изоляцией необходимо произвести семь операций деления батареи на части с замерами при каждом делении сопротивления изоляции.

Национальным горным университетом предложен способ поиска и обнаружения в тяговой батарее аккумуляторов с поврежденной изоляцией, основанный на использовании эффекта изменения полярности токов утечки в месте повреждения изоляции аккумуляторной батареи. Однако при этом способе нулевой потенциал не будет соответствовать точке повреждения не только при симметричных повреждениях изоляции аккумуляторов относительно точки нулевого потенциала, но и при несимметричных повреждениях двух и более аккумуляторов. В таких случаях батарею необходимо делить на части по точкам нулевого потенциала и по свойству изменения полярности токов утечки в месте повреждения определять аккумуляторы с поврежденной изоляцией. Кроме того, возникает опасность искрения во время измерения.

Авторами предлагается способ, лишенный указанных недостатков, причем без разборки батареи.

При ближайшем рассмотрении АКБ ее можно представить как последовательное соединение активных двухполюсников с параметрами $E_k = 1,2 \text{ В}$ и $R_{ок} = (2...2,5) \text{ Ом}$.

Извлечь информацию о повреждении изоляции (утечки на корпус) одного из элементов батареи простыми методами затруднительно. Но представление этого элемента в виде активного четырехполюсника (рис. 1) может облегчить поставленную задачу.

Определим параметры такого элемента одним из наиболее распространенных методов – холостого хода и короткого замыкания.

Определенные по результатам опытов с помощью известных формул характеристические сопротивления симметричного четырехполюсника R_c одинаковы как со стороны входных, так и со стороны выходных зажимов [1,2], т.е.

$$R_c = \sqrt{R_{1XX} \cdot R_{1K3}} = \sqrt{AB / CD},$$

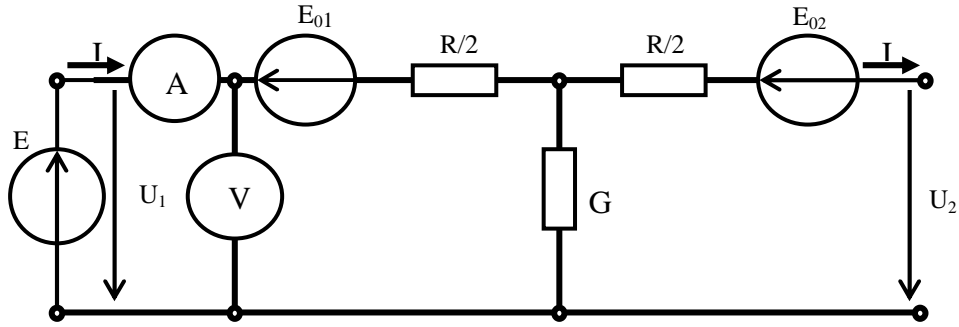


Рис. 1. Схема замещения элемента электровозной АКБ

а постоянная передачи g

$$thg = \sqrt{R_{1K} / R_{1X}} = T,$$

$$g = \frac{1}{2} \ln \frac{1+T}{1-T}$$

полностью совпала с результатом, полученным из формулы

$$g = a = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2}.$$

По их значениям найдены коэффициенты четырехполюсника:

$$A = D = chg; \quad B = R_c chg; \quad C = \frac{shg}{R_c}.$$

При этом система уравнений активного симметричного четырехполюсника имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} U_1 + U_{01} &= A(U_2 + U_{02}) + BI_2, \\ I_1 &= C(U_2 + U_{02}) + DI_2. \end{aligned} \right\}$$

Опыты проводились с элементами электровозных АКБ типа: ТНК-400-45 и KL-400-45, результаты сведены в таблицу.

Результаты опытов и расчетов параметров схемы замещения

U_{1X} (В)	U_{01} (В)	I_{1X} (А)	U_{1K} (В)	I_{1K} (А)	U_{02} (В)	R_{1X} (Ом)	R_{1K} (Ом)	A	B (Ом)	C (См)	Z_C (Ом)	g (Нп)	R (Ом)	G (См)
1,9	0,6	0,61	1,2	0,61	0,6	31	1,96	1	2,4	0,033	8	0,26	2	0,033

Параметры Т-образной схемы замещения U_{01} и U_{02} (рис. 1) получены по результатам опытов, а из формул, где используются коэффициенты четырехполюсника, соответственно

$$R = \frac{A-1}{C} \quad \text{и} \quad G = C.$$

Каскадное соединение четырехполюсников дает более полное представление об электровозной АкБ.

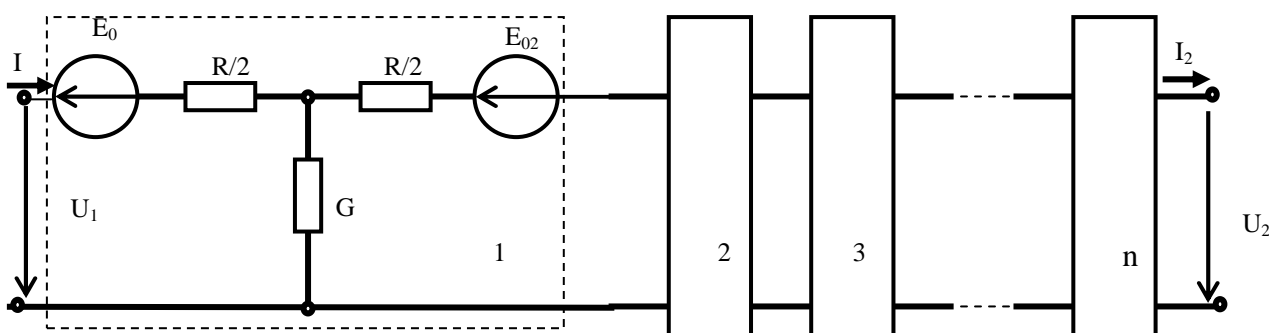


Рис. 2. Цепная схема замещения электровозной АкБ

Цепная схема (рис. 2), состоящая из n одинаковых симметричных четырехполюсников, также является четырехполюсником, отличие лишь в характеристическом сопротивлении R_y и постоянной передачи g_y . Система ее уравнений также аналогична уравнениям четырехполюсника и записывается так:

$$\left. \begin{aligned} U_1^1 &= U_2^1 ch g_y + I_2 R_y sh g_y, \\ I_1 &= \frac{U_2^1}{R_y} sh g_y + I_2 ch g_y. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Характеристическое сопротивление и постоянную передачи цепной схемы из симметричных четырехполюсников согласно работам [1, 2] можно представить, как $R_y = R_c$ и $g_y = ng$.

Подставляя эти значения в (1), получим связь между параметрами элемента батареи и АкБ в целом:

$$\left. \begin{aligned} U_1^1 &= U_2^1 chng + I_2 R_c shng, \\ I_1 &= \frac{U_2^1}{R_c} shng + I_2 chng. \end{aligned} \right\}$$

Так как i -й четырехполюсник является активным, то $U_1^1 = U_1 + nU_{01}$, а $U_2^1 = U_2 + nU_{02}$.

Такая схема в теории линий с распределенными параметрами носит название однородной «цепной», а ее входные параметры являются функциями многих переменных. Это и параметры i -го элемента АкБ R_{oi} и G_{oi} , и величина сопротивления утечки R_y через поврежденную изоляцию элемента, и координата y этого поврежденного элемента. Таким образом, контроль за изменением R_{ex} или G_{ex} несет информацию о состоянии АкБ в целом и ее элементов в отдельности.

Значение входного сопротивления цепной схемы может быть определено по формуле

$$R_{ex} = \frac{U_1^1}{I_1} = R_c \frac{R_n + R_c thng}{R_c + R_n thng}$$

или с помощью моста постоянного тока. Но, являясь функцией многих переменных, R_{ex} определенное даже с высокой точностью, не дает однозначного ответа о местоположении поврежденного элемента АкБ. Для его нахождения необходимо не знание величины R_{ex} , а его влияние на состояние равновесия моста. Уравновешивание моста, в смежные плечи которого включены контролируемая АкБ и машинная модель такой же, заведомо неповрежденной, АкБ, производится с помощью калиброванного сопротивления R_k .

На рис. 3 показана схема устройства, представляющая собой одинарный мост постоянного тока. В верхние плечи моста включена модель АкБ и одно из сопротивлений R_k . Симметрия не является необходимым условием для АкБ, а поэтому четное количество элементов в батарее не обязательно [3]. В нижние плечи моста включена АкБ с сопротивлением утечки R_y , изменяющимся как по величине, так и по положению.

В нормальных условиях работы при неповрежденном элементе АкБ R_k отключено, мост уравновешен, стрелка измерительного прибора находится в нулевом положении.

Так как выполняется условие равновесия моста, то будет выполняться и равенство произведений сопротивлений противоположных плеч, т.е.

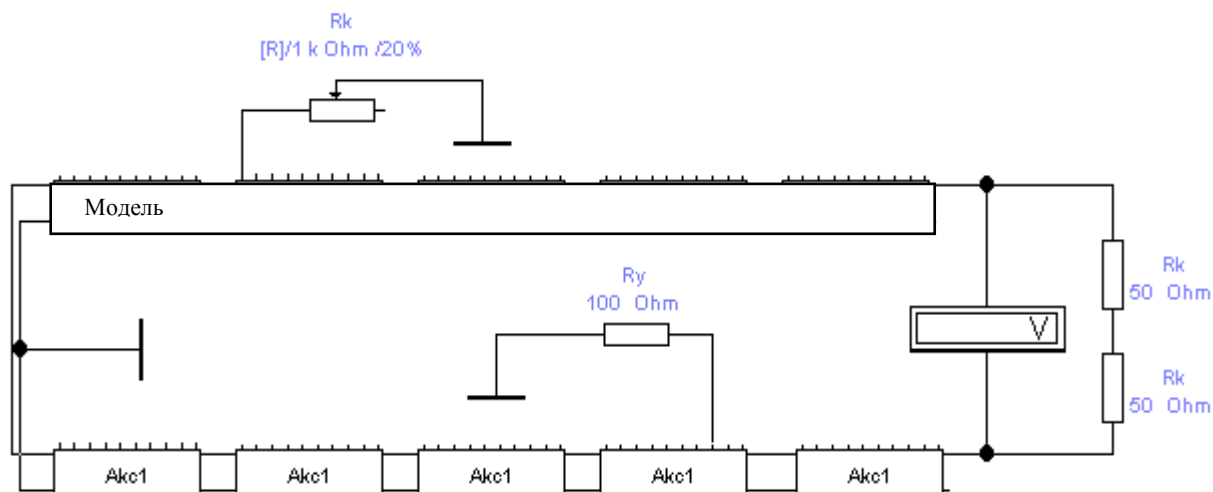


Рис. 3. Устройство определения места расположения поврежденного элемента АКБ

$$R_k R_{mod} = R_{АкБ} R_y .$$

Возникновение повреждения R_y в одном из элементов АКБ приводит к изменению входного сопротивления батареи $R_{вх}$ и разбалансу моста. Уравновешивание моста возможно при включении сопротивления R_k в модель таким образом, чтобы сопротивление модели R_{mod} уравновесило сопротивление $R_{АкБ}$ поврежденной АКБ.

Методика поиска поврежденного элемента следующая: R_k , включенное в любую точку модели, вызывает изменение R_{mod} , как по величине, так и по знаку. Положительные показания нуль-индикатора получаем в точках до повреждения «0+», отрицательные – после «0-». Последовательными перемещениями и регулировками добиваемся «0» индикации прибора, что свидетельствует о совпадении как величин R_y и R_k , так и их координат (положении на k -м элементе АКБ).

Предложенный способ и устройство определения поврежденного элемента электровозной АКБ позволят быстро, с высокой точностью и без разборки АКБ указать не только поврежденный элемент, но и определить величину сопротивления утечки R_y . Такой подход дает возможность диагностировать электровозные АКБ, не позволяя развиваться каналу повреждения до критического состояния.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарика, 2001. – 638 с.
2. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. – М.: Энергия, 1972. – Ч.2. – 239 с.
3. Коренский В.В. Способ определения места повреждения изоляции тяговой аккумуляторной батареи // Наука и образование: Науч.-техн. сб. – 1999. – Вып. 2. – С. 140.