

## КОНТРОЛ НА ИЗОЛАЦИОННОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ ЗА РУДНИЧНИ АКУМУЛАТОРНИ ЛОКОМОТИВИ

**Кирил Джустров**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: [justrov@mgu.bg](mailto:justrov@mgu.bg)

**РЕЗЮМЕ:** Разглеждат се проблемите, свързани с изолационно съпротивление на акумулаторни батерии за руднични акумулаторни локомотиви. Направен е анализ на причините за ниското изолационно съпротивление в акумулаторните батерии и произтичащите от това опасности за работещите, загуби на електроенергия и трудности при измерването. Разработено е и е внедрено устройство за автоматичен непрекъснат контрол на изолационното съпротивление при заряд на акумулаторни батерии.

### CONTROL OF INSULATING RESISTANCE OF ACCUMULATOR BATTERIES FOR MINE ACCUMULATOR LOCOMOTIVES

**Kiril Dzhustrov**

University of Mining and Geology "St Iv. Rilski", 1700 Sofia, E-mail: [justrov@mgu.bg](mailto:justrov@mgu.bg)

**ABSTRACT:** Problems have been examined, considering the insulating resistance of accumulator batteries for mine accumulator locomotives. There has been made an analyse of the reasons for the low insulating resistance of accumulator batteries and therefore following dangers for the working people, losses of electricity and difficulties with the measurements. There has been developed and introduced a device for automatic permanent control of insulating resistance at charge of accumulator batteries.

Най-често акумулаторни локомотиви се използват в рудници, опасни по газ и прах, геолого-проучвателни обекти и тунели с временна предназначеност и др. Електрическата енергия за заряд на акумулаторните батерии се преобразува от руднични зарядни станции. В зависимост от типа на акумулаторните батерии напрежението е различно по големина: от 40V при двутонния електровоз АК2У до 185V при четиринадесет тонния АРП14.

Акумулаторните елементи са подредени в метални сандъци, покрити от вътрешната страна с полиетилен. Корпуса на елементите на железо-никеловите акумулатори са също метални, като всеки елемент по отделно е поснавен в гумен чохъл. Батерийният сандък е покрит с капак, имащ вентилационни отвори. Като цяло акумулаторната батерия е подложена на агресивната руднична атмосфера и на прякото въздействие от излят електролит (NaOH, KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Това обстоятелство, съчетано с факта, че практически батерийният сандък е заземен (чрез локомотива и релсовия път или чрез зарядната маса), определят и значителните по големина утечни токове. Нормално изолационното съпротивление спрямо земя варира в границите от няколко килоома до десетки килоома. Промяната на изолационното съпротивление във функция от времето е доста динамична. Утечките, които могат да възпламенят взривоопасната атмосфера или да доведат до пожароопасни загрявания, са резултат на въглищния или рудничен прах, разлят електролит по елементите или в повреда на изолацията на сандъка и отделните елементи. При батериите с напрежение над 100V има опасност и от

поражение от електрически ток при допир на човек до тоководеща част.

Съществуващата асиметрия в напреженията спрямо земя се определя от асиметрията на съответните изолационни съпротивления спрямо земя:

$$A = \left| \frac{U^+ - U^-}{U^+ + U^-} \right| \cdot 100, \% \quad (1)$$

Трябва да се подчертае, че асиметрията А носи информация за разликата в изолационните съпротивления R<sup>+</sup> и R<sup>-</sup>, но не и за техните абсолютни стойности, които лимитират тока на утечка.

$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} = \frac{U^+ + U^-}{R^+ + R^-} \quad (2)$$

Ниските стойности на изолационните съпротивления и лимитираните от тях утечни токове към земя създават проблеми в три аспекта:

- Опасност от експлозии и пожари;
- Опасност за обслужващия персонал при еднополюсен допир;
- Значителни загуби на ел. енергия, която не е свързана пряко със заряда на батериите;

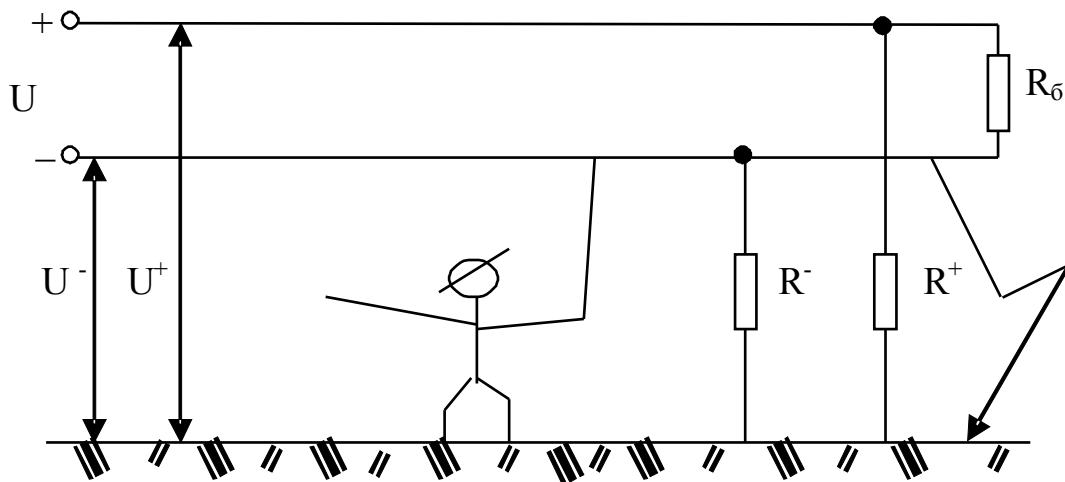
Количествена оценка на тези три проблема може да се направи по схемата на фиг. 1

При директно земно съединение на единия полюс (напр. “-“) към земя токът на утечка ще бъде:

$$I_y = \frac{U}{R^+}$$

Ако приемем, че  $R^+ = R^-$ , то е видно, че токът на утечка ще се увеличи два пъти. Големината му може да достигне няколко десетки mA, което е предпоставка за възпламеняване на взривоопасната руднична атмосфера.

Опасностите за обслужващия персонал са свързани с реално съществуващата възможност за еднополюсен директен допир – чрез докосване на тоководещите шини.



Фиг. 1.

Максималните допирни напрежения се получават както следва:

- При допир към шина “+” и  $R^- \approx 0$ ;

$$U_h = U$$

- При допир към шина “-” и  $R^+ \approx 0$ ;

$$U_h = U$$

Съгласно Наредба № 3 от 9 юни 2004 (чл. 136 ал.1) в мрежи за променливо напрежение до 1000 V с изолирана неутрала и мрежи за постоянно напрежение с изолирани полюси или с изолирана средна точка се предвижда автоматичен контрол на изолацията. Чл. 32 ал. 2 в Наредба № 4 от 14 август 2003г. лимитира като безопасно напрежение в мрежите за постоянен ток 120V.

На практика захранващото напрежение в много акумулаторни локомотиви превишава тази стойност, тъй като се определя от броя на единичните елементи и от степента на зареденост на батерията, което означава, че при еднополюсен директен допир и директно земно съединение на другия полюс са налице реални опасности за човека.

1. Напрежението на допир към шина “+” е:

$$U_h^+ = \frac{R_h \cdot R^+ \cdot U}{R^+ \cdot R_h + R^- \cdot (R^+ + R_h)} \quad (3)$$

а при докосване на шина “-”, човекът попада под напрежение:

$$U_h^- = \frac{R_h \cdot R^- \cdot U}{R^- \cdot R_h + R^+ \cdot (R^- + R_h)} \quad (4)$$

Третият аспект е свързан със загубите на енергия от утечните токове, които са със паразитен характер. От схемата на фиг.1 не е трудно да се определи израза за тока на утечка:

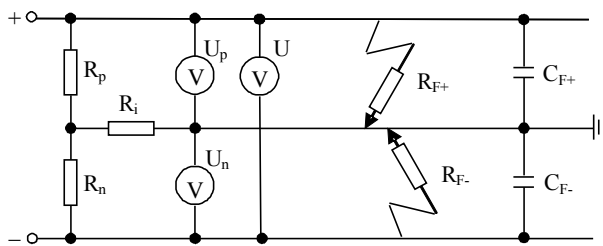
$$I_y = \frac{U}{R^+ + R^-} \quad (5)$$

и за мощността

$$P_y = \frac{U^2}{R^+ + R^-} \quad (6)$$

При съпротивление на изолацията  $10^3 \div 10^4 \Omega$ , считано като характерно, мощността на тока на утечка е от порядъка на няколко W. Поради непрекъснатия характер на технологичния процес на заряд и разряд, годишната загуба на ел. енергия е в границите от  $10^2 \div 10^3$  kWh т. е. в порядъка  $10^{-4} \div 10^{-3}$  % от енергията, консумирана за осъществяване на технологичния процес. Явно последният проблем няма практически интерес.

За напрежения до 320V често се използват контролиращи устройство, които подават сигнал при откриване на неизправност в контролираната мрежа.



Фиг. 2.

Много от тези устройства се основават на мостови измервателни схеми (фиг. 2), като за големината на изоляционните съпротивления  $R_{F+}$  или  $R_{F-}$  се съди по измерените напрежения:

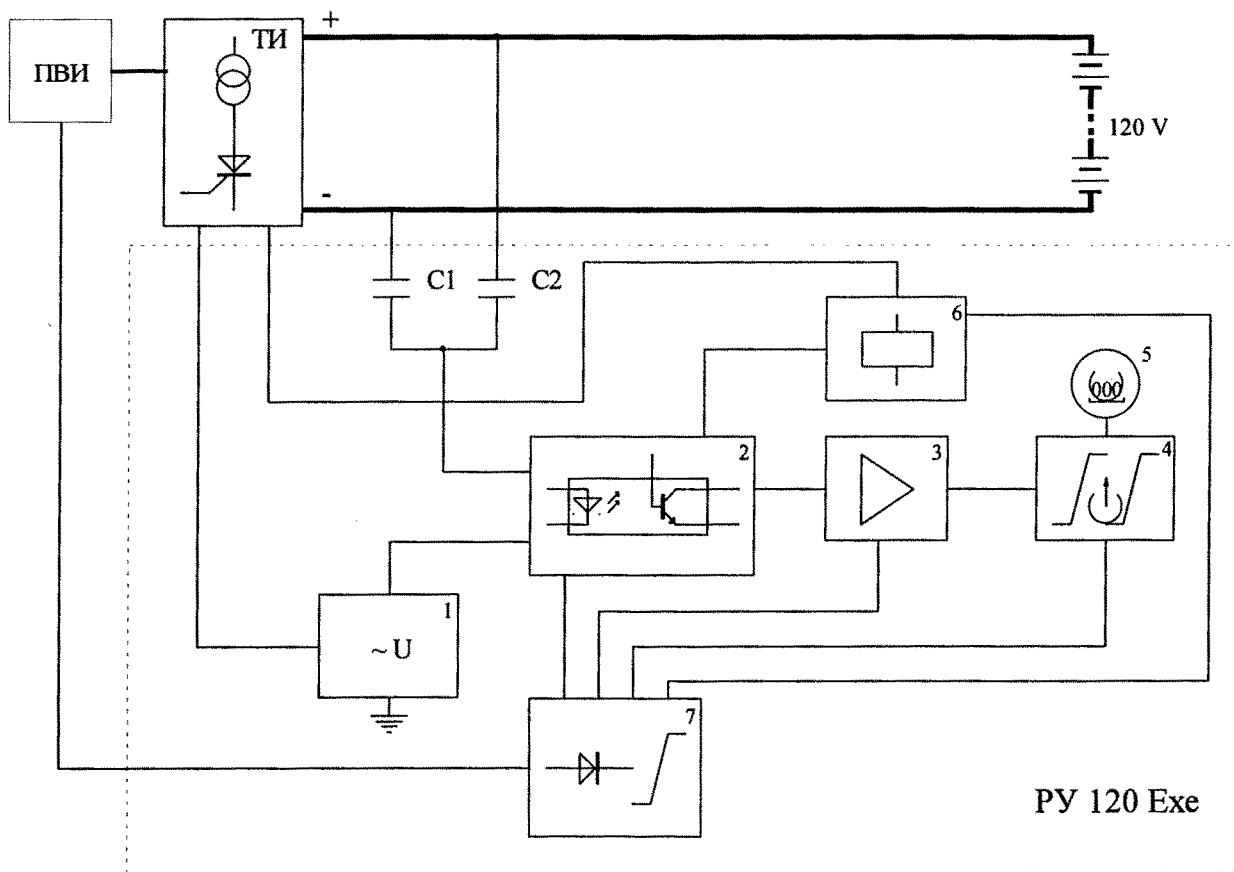
$$R_{F+} = R_i \frac{U - (U_p + U_n)}{U_n}$$

$$R_{F-} = R_i \frac{U - (U_p + U_n)}{U_p}$$

Очевидно е обаче, че този вид измервателни схеми имат съществен недостатък – не реагират на симетрично изменение на изоляционното съпротивление.

Разработеното устройство за контрол на изоляцията РУ120Ехе е предназначено за вграждане в токоизправителни устройства за руднични акумулаторни локомотиви. Заедно с тикоизправителя ЕКЗ 120/77 получава от МакНИИ сертификат за взривозащита и разрешение за използване в подземните въглищни рудници на Украйна. Основните параметри на разработения апарат са:

- напрежение на защитаваната мрежа, V 120 DC
- съпротивление на задействане при еднофазна утечка, kΩ 3,5
- време на задействане на устройството, s ≤ 0,1
- режим на работа – продължителен R1
- изход превключващ контакт 6 A, 380V AC  
1 A, 30V DC
- маса, kg 0,7
- температура на околната среда, °C - 20 ÷ + 55
- относителна влажност при 20°C, % до 80
- височина надморско ниво, m до 2000
- работно положение в пространството произволно



Фиг. 3.

Релето от утечки РУ120Ехе контролира изолационното състояние спрямо земя в контура зарядно устройство - кабел - тягова батерия посредством променливо оперативно напрежение 36 V с честота 50 Hz, което позволява да реагира както на асиметрично изолационно съпротивление на един от двата полюса, така и при симетричното му изменение.

Блоквата схема на релето е показана на фиг. 3. Захранването на активните елементи на устройството се осъществява от понижаващия трансформатор 380/36 V на включващия зарядното устройство взривозащитен пускател, например ПВИ (фиг. 4). Първичната намотка на този трансформатор е присъединена след разединителя и преди главните контакти на пускателя. Следователно изключването на захранването на РУ120Ехе може да се осъществи само от разединителя на пускателя.

Оперативното напрежение 36 V се получава от самостоятелна намотка на силовия трансформатор на зарядното устройство.

Измерителната верига се присъединява към двата полюса на контролираната мрежа посредством кондензаторите С1 и С2. Последните препятстват постоянната съставка на утечния ток, протичащ под действие на напрежението 120 V. Оперативният ток, зависещ от изолационното съпротивление спрямо земя на контролирания контур, се подава към входа на

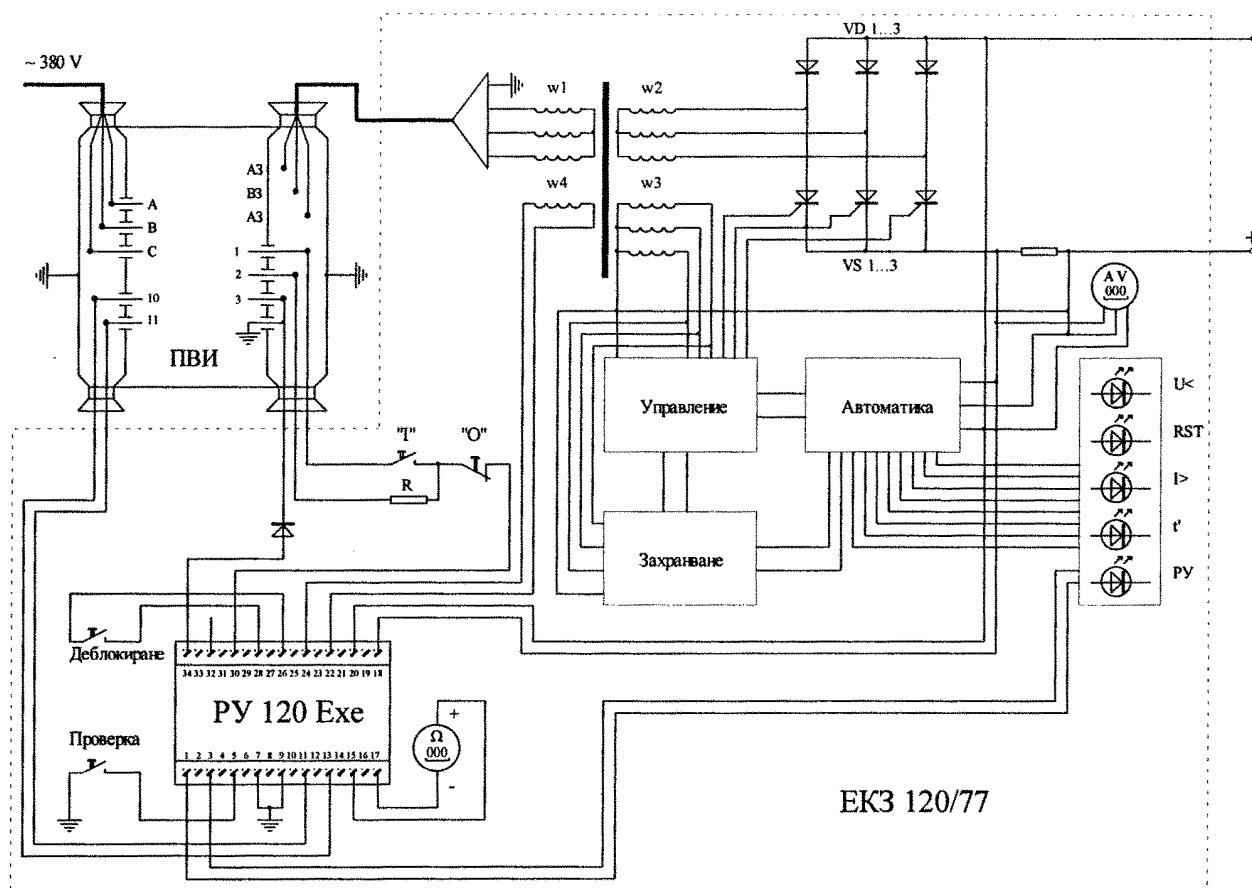
оптронния блок 2, сигналите от който галванично разделят контролираната верига от последващата част от схемата. От оптронния блок сигналът се подава към блок 3, който съдържа интегриращи и усилващи елементи. За линеаризация на изходния сигнал се използва блокът 4, който го логаритмува. От него сигналът се подава към цифровия измерителен уред 5, показващ общото изолационното съпротивление спрямо земя в обхват от 10 до 200 кΩ.

Друг сигнал от оптронния блок 2 се подава към блока 6, който включва компаратор и усилвател с релеен изход. Контактите на изходящото реле, които са затворени при нормално изолационно съпротивление, се отварят при действие на релето и прекъсват веригата за управление на пускателя.

При проектиране на устройството за контрол на изолацията са взети в предвид действащите в България, Русия и Украйна стандарти за взривозащита.

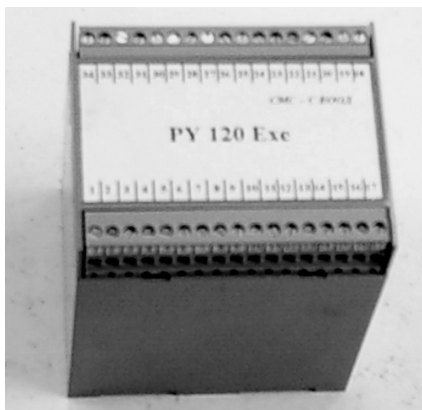
Грешката на действие на релейния блок е под 2 %, а на измервателния – под 5 %. Обхватът на настройка е от 2 кΩ до 10 кΩ.

На фиг. 4 е показана схема присъединяване на РУ120Ехе със зарядното устройство и рудничен взривозащитен пускател от серията ПВИ.



Фиг. 4.

На фиг. 5 е показан външният вид на апарата, намерил приложение в серийно произвежданите зарядни устройства ЕК3 120/77.



Фиг. 5.

Препоръчана за публикуване от  
катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

## Литература

- Анев Г., Ментешев М., 1987. Електробезопасност в минните предприятия (Основи на електрообезопасяването). София, Висш Минно-геоложки институт, 30-63
- Джустров К., Др. Костов, М. Ментешев, 2003. Контрол на изолационното съпротивление на постояннотоковата мрежа в електролизни цехове. София, Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", том 46, 95-99
- Hofheinz, W., 2000. Protective Measures with Insulation Monitoring, VDE VERLAG, Berlin