

**ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ ПРИ ЕДНОПОЛЮСЕН ДОПИР НА ЧОВЕК
КЪМ DC МРЕЖА****Кирил Джустров***Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски» София***TRANSIENT PROCESSES DURING SINGLE-POLE CONTACT OF A
PERSON WITH A DC NETWORK****Kiril Dzhustrov***University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”***Abstract**

An analytical study of the transient processes during a single-pole contact of a person with a DC network is described in the paper. An expression of the magnitude of the current flowing through the person is derived and graphically presented for two values of the network's capacity.

Keywords: Electrical safety , Transient processes.

ВЪВЕДЕНИЕ

Изоляционното съпротивление на електрическите мрежи е един от най-важните параметри не само за нормалното им функциониране, а и за безопасността на персонала, имащ достъп до тях. Поради тази причина непрекъснатият контрол на изоляционното съпротивление е важно и е недопустимо неговото пренебрегване.

Резките промени в топлинното състояние на изоляцията поради изменящите се електрически товар, неблагоприятните механични въздействия върху изоляционните обвивки на кабелите, овлажняването и т.н. причиняват интензивно стареене на изоляцията на рудничните мрежи и електросъоръжения и понижават активното и съпротивление спрямо земя [8]. Намаляване на изоляционното съпротивление може да се дължи и на механична повреда в изоляцията, при което има повишена опасност от пожар или експлозия [2].

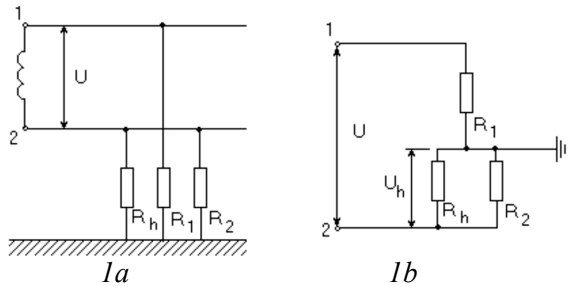
Съпоставянето на резултатите от измерванията на активното и капацитивно изоляционно съпротивление спрямо земя на рудничните електрически системи показва, че изоляционната им проводимост има подчертано изразен капацитивен характер [1,3], тъй като капацитивното изоляционно съпротивление в повечето случаи е значително по-малко от активното. Следователно равнището на безопасността при експлоатация на електросъоръженията в минните предприятия се обуславя преди всичко от големината на капацитета на електрическите системи спрямо земя.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Двупроводни, изолирани от земята са всички мрежи за постоянно напрежение и някои мрежи за променливо напрежение. В най-общия случай тяхната реактивна проводимост по отношение на земята се определя от капацитета им – има мрежи с малък и голям капацитет.

А) изолирани от земята двупроводни мрежи с малък капацитет.

Такива са откритите въздушни мрежи с напрежение до 1000V независимо от дължината им и кабелни мрежи с дължина до 1km при различните напрежения. Принципната схема на еднофазна двупроводна мрежа, изолирана от земята с малък капацитет е дадена на фиг. 1а [4]



Фиг. 1. Изолирана двупроводна мрежа с малък капацитет. 1а – принципна схема; 1b – еквивалентна заместваща схема

Към един от проводниците, например 2, се допират човек със съпротивление R_h . Поради малкия капацитет са пренебрегнати реактивните съставлящи на проводниците и участват само активните съпротивления. От заместващата схема (фиг. 1б) се определя токът през човека

$$I_h = \frac{U}{R_h \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + R_1} \quad (1)$$

Когато активните съпротивления на двата проводника са еднакви: $R_1 = R_2 = R$, то

$$I_h = \frac{U}{2R_h + R} \quad (2)$$

Анализът на 1 и 2 показва, че големината на тока през човека освен от I и R_h зависи много и от съпротивлението на проводниците R по отношение на земята. При изправна изолация $R_h \ll R$ и тогава токът през човека ще зависи преди всичко от съпротивлението на изолацията. Ако съпротивлението на един от проводниците е нарушено допирането до другия проводник ще бъде опасно. Когато проводник 1 има земно съпротивление и

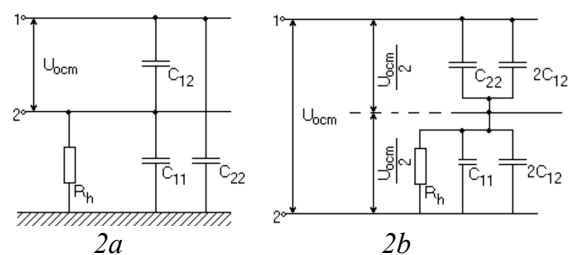
$R_1 \approx 0$ при допир до проводник 2 през човека ще протече ток

$$I_h = \frac{U}{R_h} \quad (3)$$

За заключение може да се изтъкне, че при двупроводни мрежи с малък капацитет допир до един от проводниците при изправна изолация е безопасен, защото $R_h \ll R$. Когато изолацията е нарушена и стойностите на R са по-ниски от нормалните или един от проводниците е със земно съединение, допирът може да доведе до тежки поражения. Затова такива мрежи се съоръжават с автоматика за постоянен контрол на състоянието на изолацията.

Б) Изолирана от земята двупроводна мрежа с голям капацитет.

Въздушни мрежи с напрежение над 1000V и кабелни мрежи с дължина по-голяма от 1-2 km [7] независимо от напреженията имат капацитивна проводимост спрямо земята, която не може да се пренебрегне. Допир до такава мрежа е опасен не само когато е под напрежение, а и веднага след изключване на захранването поради остатъчното напрежение $U_{ост}$. При мрежи с постоянно напрежение $U_{ост}$ в момент на изключване е равно на работното напрежение и намалява в зависимост от стойността на активната проводимост и капацитета на мрежата. При мрежи с променливо напрежение остатъчното напрежение $U_{ост}$ зависи от моментната стойност, в която се изключва и може да достигне двойната амплитудна стойност, а при някои комутационни пренапрежения и по-високи стойности.



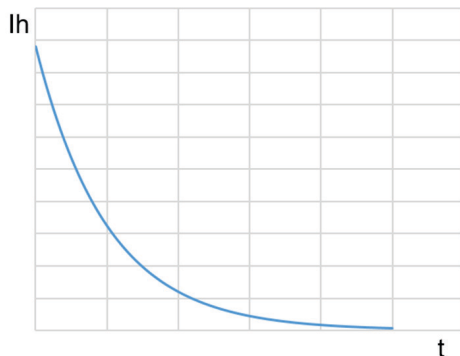
Фиг. 2. Изолирана двупроводна мрежа с голям капацитет. 2а – принципна схема; 2b – еквивалентна заместваща схема

На фиг. 2а е показана схема на изолирана от земята и изключена двупроводна мрежа с голям капацитет. Когато човек се допира до проводник 1 остатъчното напрежение е $U_{ост}$. Капацитетите на проводници 1 и 2 спрямо земята са C_{11} и C_{22} , а между двата проводника – C_{12} .

При определяне на тока през човека при допир до проводник 1 се използва заместващата схема фиг. 2б. Тук кондензаторът C_{12} е заменен с два последователно свързани със стойност $2C_{12}$. Напрежението между проводник 1 и земята е $U_{ост}/2$, с което са заредени кондензаторите C_{11} и C_{22} . След допиране на човека до проводник 1 през него протича ток [5, 6].

$$I_h = \frac{U_{ост}}{2R_h} e^{-\frac{t}{R_h(C_{11}+2C_{12})}} \quad (4)$$

Изменението на този ток i_h в зависимост от времето t е показано на фиг.3. При допир на човек до проводник на изключена мрежа опасността за поражение зависи от големината на остатъчното напрежение и капацитета на мрежата.



Фиг.3. Ток през човек при еднофазно допиране в момент на изключване на двупроводна мрежа с голям капацитет

Когато капацитетът е малък токът има голяма начална стойност определена от остатъчното напрежение $U_{ост}$, но е краткотраен и може да не доведе до злополука. При голям капацитет началната стойност на тока може да е малка, но поради продължителното протичане на то-

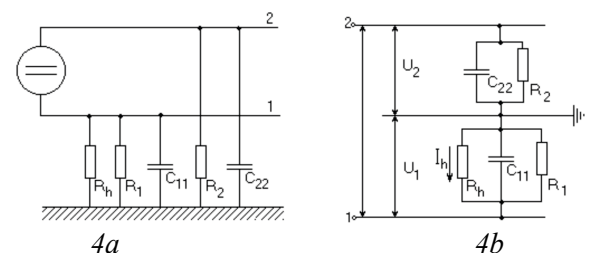
ка може да предизвика фатални последици.

При допир на човек едновременно до двата проводника на изключена двупроводна мрежа с голям капацитет допирното напрежение е $U_{ост}$, а капацитетът който ще се разрези през човека – $C_{12}+1/2C_{11}$ (при условие, че $C_{11}=C_{22}$). Токът през човека е

$$i_h = \frac{U_{ост}}{R_h} e^{-\frac{t}{R_h(C_{12} + \frac{1}{2}C_{11})}} \quad (5)$$

Максималната стойност на тока през човека ще бъде два пъти по-голяма в началния момент, но ще спада по-бързо поради по-малката времеконстанта.

Интерес представлява допир до проводник при изолирана от земята двупроводна мрежа с голям капацитет, захранвана с постоянно напрежение. Принципната схема на такава мрежа е показана на фиг. 4.



Фиг.4. Изолирана от земята двупроводна мрежа с голям капацитет, захранвана с постоянно напрежение. 4а – принципна схема; 4б – еквивалентна заместваща схема

Когато човек се допира до проводник 1 през него ще протича ток $i_h=I'_h+i''_h$. Токът I'_h се определя както при схема с малък капацитет. Токът i''_h при допир до проводник 1 ще зависи от съпротивленията R_1 и R_2 , както и от капацитетите C_{11} и C_{22} и напрежението на мрежата U .

Напреженията на всеки проводник по отношение на земята преди допир на човек са

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

След допир на човек

$$U_1' = U \frac{R_1'}{R_1 + R_2} \quad \text{и} \quad U_2' = U - U_2' \quad (7)$$

Където

$$R_1' = \frac{R_1 R_h}{R_1 + R_h}$$

Напреженията на кондензаторите C_{11} и C_{22} се изменят с $\Delta U = |U_1 - U_1'| = |U_2 - U_2'|$. Това изменение на напрежението предизвиква разреждане на C_{11} и зареждане на C_{22} през съпротивлението $R_h \approx R_1'$, тъй като $R_h \ll R_1$.

През човека протича ток

$$i_h' = \frac{\Delta U}{R_h} e^{-\frac{t}{R_h(C_{11} + C_{22})}} \quad (8)$$

Където

$$\Delta U = U_1 - U_1' = U \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_1'}{R_1' + R_2} \right)$$

при $R_1 = R_2 = R$

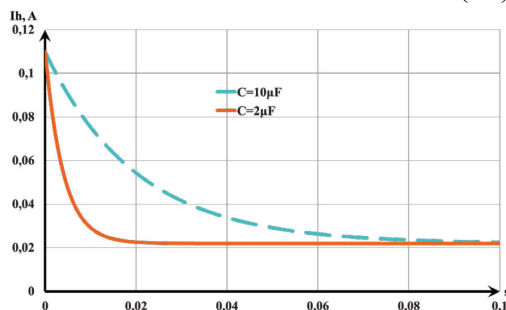
$$\Delta U = U \frac{R}{2(R_h + R)} \quad (9)$$

Затихващият краткотраен ток i_h' се наслажда върху трайния ток I_h' , при което резултатният ток през човека i_h е

$$i_h = \frac{U}{R_h \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)} + \frac{\Delta U}{R_h} e^{-\frac{t}{R_h(C_{11} + C_{22})}} \quad (10)$$

при $R_1 = R_2 = R$

$$i_h = \frac{U}{2R_h + R} + \frac{UR}{2R_h(2R_h + R)} e^{-\frac{t}{R_h(C_{11} + C_{22})}} \quad (11)$$



Фиг.5. Ток през човека при еднофазно допирание на изолирана от земята двупроводна мрежа с голям капацитет, включена към източник с постоянно напрежение

Уравнение (11) показва, че двупроводните мрежи с голям капацитет са по-опасни от тези с малък капацитет, защото освен тока от активните проводимости, през човека протича и краткотраен ток с начална стойност $\Delta U/R_h$ и време-константа на затихване $R_h(C_{11} + C_{22})$. При $R \gg R_h$ напрежението ΔU може да достигне стойности близки до $U/2$. Кривата на тока I_h при двупроводна мрежа с голям капацитет при еднофазно допирание е дадена на фиг.5 при $C_{11} = C_{22} = 10 \mu\text{F}$, $U = 220\text{V}$ и $R = 500\text{k}\Omega$. На същата фигура и при същите стойности на напрежението и активното съпротивление на изолацията е показано и изменението на тока през човека I_h при $C_{11} = C_{22} = 2 \mu\text{F}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максималната стойност на токът се определя само от напрежението и от активното съпротивление на мрежата, докато продължителността на затихването му – от време-константата на затихване. Постояннотоковите мрежи в подземните рудници обикновено са с малка дължина и капацитетът им не е по-голям от $2 \mu\text{F}$ и напрежение до 275V . За такива мрежи затихването на преходния процес е под 20ms , което не оказва съществено значение от гледна точка на безопасността. В големите открити рудници капацитетът на мрежата може да достигне до $10 \mu\text{F}$, а напрежението до $1,65\text{kV}$. В този случай, продължителността на преходния процес достига до 80ms , което трябва да бъде отчитано. Независимо от големината на капацитета на мрежата при напрежения по-високи от 120V DC е задължително електрическите системи да са съоръжени с устройства за непрекъснат контрол на изолацията с автоматично защитно изключване [9, 10].

Видът на токът оказва съществено влияние върху опасността от електропоражение. Биологичните тъкани реагират в момента на нарастване или на намаляване на електрически ток, който протича през тях. Поради това постоян-

ният ток, който в течение на времето не се изменя по полярност и по големина, предизвиква физиологични реакции само в началния момент на протичането му през човешкото тяло и в момента на прекъсването му. Действието на постоянния ток върху човешкото тяло е предимно топлинно. Ето защо при напрежения до 500V постоянният ток е по-малко опасен от променливия. При по-високи напрежения, обаче, постоянният ток може да причини електролитно възбуждане на биологичните тъкани с опасни последици.

REFERENCE

- [1] Dzhustrov K., Control of insulating resistance of accumulator batteries for mine accumulator locomotives, Annual of the University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, 2007, ISSN 1312-1820, vol. 50, part. 3, pp. 140-145.
- [2] Kartselin E., R Istalianov, I. Mladenova, N. Lakov, Opredelyane na veroyatnostta za vŭznikvane na eksplozii i pozhari v elektricheskite sistemi na obekti v gazovata promishlenost, BULCAMC'2010
- [3] Dzhustrov, K., D. Kostov, S. Chobanov, M. Menteshv, Aparati za zashtita ot tokovi utechki v rudnichni mrezhi s naprezhenie 220 V AC., sp. "Minno delo i geologiya", 2012/2-3
- [4] Anev G., M. Menteshv, Elektrobezopasnost v minnite predpriyatiya (osnovi na elektrobezopasyavaneto), Sofiya, 1987
- [5] Ivanov I., P. Petrov, G. Velev, N. Vitkov, TEHNICHESKA BEZOPASNOST, Sofia, 2011
- [6] Petrov P., G.Velev, K. Ivanov - TEHNICHESKA BEZOPASNOST lektionen kurs i trenirovachni testove, Gabrovo, 2021
- [7] Venkov I., P. Petrov - TEHNICHESKA BEZOPASNOST, Gabrovo, Gabrovo print, 2002
- [8] Hofheinz, W., 2000. Protective Measures with Insulation Monitoring, VDE VERLAG, Berlin
- [9] Pravilnik po bezopasnostta na truda pri razrabotvane na nakhodishta po podzemen nachin. DI „Tehnika“, Sofia, 1971.
- [10] Pravilnik za bezopasnostta na truda pri razrabotvane na nakhodishta po otkrit nachin. Sofia 1996.