

## НЯКОИ АКЦЕНТИ ПРИ ИЗБОРА, МОНТАЖА И ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ДЕФЕКТО-ТОКОВИТЕ ЗАЩИТИ. ДЕМОСТРАЦИОНЕН ФИЗИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА СИМУЛИРАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНОСТТА ИМ

Георги Велев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, g\_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

**РЕЗЮМЕ.** Дефектнотоковите защиты (ДТЗ) навлизат все повече при изграждането и реконструкцията на електрическите инсталации на сградите за ниско напрежение в нашата страна, като едно съвременно и надеждно средство за защита на хората от индиректен, а в някои случаи и от директен допир до тоководещи части под напрежение. Често обаче са случаите, при които ДТЗ не са подбрани и монтирани правилно, в следствие на което те сработват безпричинно или пък е нарушена тяхната чувствителност. Докладът подробно разглежда най-важните особености, които трябва да се взимат под внимание при избора и монтажа на ДТЗ, така че да се гарантира тяхната правилна работа и надеждност. Разработен е и физически модел за симулиране на функционалността на ДТЗ при различните видове електрически мрежи – TN-S, TN-C-S, TT и IT.

SOME ASPECTS IN THE SELECTION, INSTALLATION AND OPERATION OF RCDs. DEMO PHISICAL MODEL FOR SIMULATION OF THEIR FUNCTIONALITY

Georgi Velev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, g\_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

**ABSTRACT.** Residual current devices (RCD-s) are used more and more in the process of construction and renovation of the low voltage electrical installations of buildings in our country. RCDs are one contemporary and reliable means for human life protection from indirect and in some cases from direct contact to current carrying terminals under voltage. There are often cases when the RCDs are not selected and installed correctly and as a result they trip with no reason or their sensitivity is discriminated. The paper inhere discusses the most important points in the RCDs' selection and installation for guaranteeing their correct work and high reliability. A physical model have been designed for simulation of RCDs' functionality in cases of electrical low voltage installations of a different kind - TN-S, TN-C-S, TT u IT.

### Въведение

Макар и недостатъчно оценени на този етап, рисковете, които носи електричеството, са два основни:

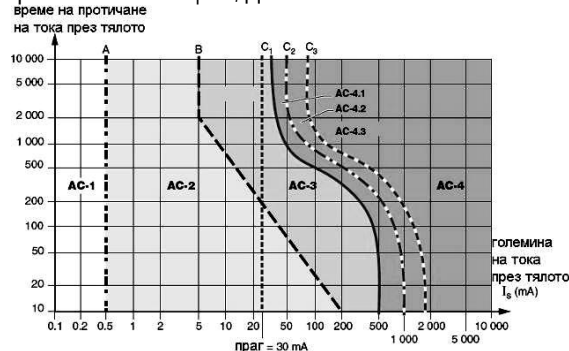
- поражение на човек при директен или индиректен контакт с тоководещи части под напрежение;
- възникване на пожар поради нарушена изолация.

Поражението на човек от електрически ток може да има фатален изход. При стойност над 30mA опасността от възникване на сериозни травми се счита за много висока. Тогава възникват сериозни дихателни затруднения поради респираторна парализа в човешкото тяло (фиг. 1). 75 mA е прагът на необратима сърдечна фибриляция (Schonek, J., 2006).

Пожар в сграда може да възникне поради различни причини, но е доказано, че голям процент от тях се дължат именно на нарушена изолацията на електрическата инсталация или електроуреди. По принцип, в мястото на повреда протича ток на утечка към земя. При стойност на този ток над 500mA, оголеният проводник и заобикалящата го изолация се загряват и възниква сериозна опасност от възникване на пожар.

И в двата случая не може да се разчита единствено на защита чрез автоматичен прекъсвач или предпазител със стопяема вложка, тъй като стойностите на протичащия

електрически ток не могат да предизвикат изключването му, а навременното изолиране на повредения електрически контур може да се гарантира единствено само от дефектнотокова защита, ДТЗ.



Фиг. 1. Време-токови зони на въздействие на променлив електрически ток с честота до 100 Hz, преминал през човешкото тяло. (Зона AC-1- праг на усещане; Зона AC-2 – неконтролируеми контракции на мускулите; Зона AC-3 – дихателни затруднения; Зона AC-4 – сериозни патологични увреждания; Зона AC-4.1 – риск от вентрикулярна фибриляция до 5%; Зона AC-4.2 – риск от вентр. фибриляция до 50%; Зона AC-4.3 – риск от вентр. фибр-я над 50%).

Трябва да се има предвид, че в случай на попадане на човек под напрежение при допирание или хващане на две тоководещи части (фаза и нула или фаза - фаза) дефектнотоковата защита не реагира, тъй като няма протичане на

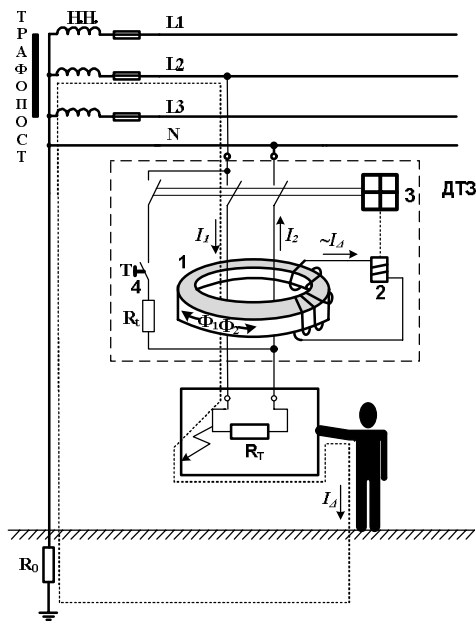
диференциален ток, т.е. ДТЗ намаляват в огромна степен риска от електрозлополуки, но на тях в никакъв случай не трябва да се гледа като на универсално средство за предпазване на човешкия живот от действието на електрическия ток.

На пазара в момента има огромно разнообразие от ДТЗ от водещи производители като Schneider Electric (Merlin Gerin), Shrack, LS и др.

### Принцип на работа на ДТЗ

Функционално ДТЗ може да се сравни с бързодействащ защитен прекъсвач, реагиращ на разликата от токовете в проводниците (ток на утечка през изолацията), пренасящи електроенергията към защитаваната електрическа уредба или консуматор.

Основните функционални блокове на ДТЗ са показани на фиг. 2.



Фиг. 2. Устройство на ДТЗ

Най-важният функционален блок на ДТЗ е **диференциалния токов трансформатор** – 1. В повечето ДТЗ, произведени и експлоатирани в днешно време по цял свят, като датчик на диференциален ток се използва именно токов трансформатор.

**Пусков орган (прагов елемент)** – 2 – изработва се на базата на чувствително електромагнитно реле с пряко действие или електронни компоненти.

**Изпълнителен механизъм** – 3 – включва силова контактна група с механизъм за превключване.

В нормален режим, при отсъствие на диференциален ток (ток на утечка), в силовата верига по проводниците, преминаващи през прозореца на магнитопровода на токовия трансформатор – 1, протича работния ток на товара. Проводниците, преминаващи през прозореца на магнитопровода, образуват насрещно включени първични намотки на диференциалния токов трансформатор. Ако се обозначи тока, протичащ по посока на товара като  $I_1$ , а от товара – като  $I_2$ , то може да се напише равенството:

$$I_1 = I_2 \quad (1)$$

Равните токове на насрещно включените намотки създават в магнитната сърцевина на токовия трансформатор равни, но векторно противоположни магнитни потоци  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Резултантният магнитен поток е равен на нула, тока

във вторичната намотка на диференциалния трансформатор също е равен на нула.

Пусковия орган 2 в този случай е в състояние на покой.

При докосване от човек на откритите тоководещи части или на корпуса на електросъоръжението, на което е пробива изолацията, по фазовия проводник през ДТЗ освен тока на товара  $I_1$  протича и допълнителен ток – ток на утечка ( $I_d$ ), който се явява за токовия трансформатор диференциален ток.

Неравенството на токовете в първичната намотка ( $I_1 + I_d$  във фазовия проводник) и ( $I_2$  равен на  $I_1$  – в неутралния проводник) предизвиква неравенство на магнитните потоци и като следствие във вторичната намотка протича диференциален ток. Ако този ток превишава настройката на праговия елемент на пусковия орган 2, последният сработва и въздейства на изпълнителния механизъм 3. Изпълнителният механизъм обикновено се състои от пружинен привод, спусков механизъм и група силови контакти, с които разкъсва електрическата верига. В резултат защитаваната от ДТЗ електрическа верига се изключва от електрическата мрежа.

### Нормирани параметри на ДТЗ

- $U_n$ , mA – **номинално напрежение** – стойността на напрежението, при която се гарантира работоспособността на ДТЗ;
- $I_n$ , A – **номинален работен ток** – стойността на тока, която ДТЗ могат да пропускат при продължителен режим на работа;
- $I_{\Delta n}$ , mA – **номинален диференциален изключващ ток** – стойността на диференциалния ток, която предизвиква изключване на ДТЗ при определени условия на експлоатация;
- $I_m$ , A – **комутационна способност при включване и изключване** – очаквания ток, при който ДТЗ е в състояние да включи; все още е затворил контактите си през времето на изключване и изключи контактната си система без да се наруши неговата работоспособност;
- $I_{\Delta m}$ , A – **комутационна способност при включване и изключване по диференциален ток** – действителната стойност на очаквания диференциален ток, при който ДТЗ е в състояние да включи; все още е затворил контактите си през времето на изключване и изключи при зададените условия на експлоатация без да се наруши неговата работоспособност;
- $I_{nc}$ , kA – **устойчивост при късо съединение** – действителната стойност на очаквания ток на к.с., която може да издържи контактната система на ДТЗ в затворено положение, без нарушаване на нейната работоспособност;
- $I_{\Delta c}$ , kA – **устойчивост при късо съединение по диференциален ток** – действителната стойност на очаквания диференциален ток при к.с., която може да издържи контактната система на ДТЗ в затворено положение, без нарушаване на нейната работоспособност;
- $U_{imp}$ , kV – **устойчивост на импулсно напрежение** – допустимото ниво на пренапрежения по амплитудна стойност, която не предизвиква погрешно задействане на ДТЗ;
- $T_n$ , ms – **номинално време за изключване** – времето между момента на внезапното възникване на изключващия диференциален ток и момента на изгасване на дъгата на всички полюси при  $I_{\Delta} = I_{\Delta n}$ ;

- **Максимален брой работни цикли (комутации)** – минималния брой задействания преди първа повреда. Понякога се дават две стойности – при задействане без и със протичане на изключвателен диференциален ток;
- $I_{\Delta n0}$ , mA - **номинален диференциален ток на неизключване** – стойността на диференциалния ток на утечката, която не предизвиква изключване на ДТЗ при определени условия на експлоатация -  $I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}$ . Ако дефектнотокувата защита заработва при токове на утечката  $I_{\Delta} \leq 0,5 I_{\Delta n}$  е нужна нейната подмяна с нова.

### Видове ДТЗ

Според броя на фазите на електрическата инсталация и вида на товарите ДТЗ се разделят на 3 вида:

- **Двуполусни ДТЗ(2P)** – за защита на еднофазни електрически инсталации и консуматори при трипроводна електрическа инсталация;
- **Триполусни ДТЗ (3P)** – за защита на трифазни консуматори свързани в триъгълник или звезда с изолирана неутрала и четири-проводна трифазна електрическа инсталация;
- **Четириполусни ДТЗ (4P)** – за защита на трифазни консуматори, свързани в звезда при пет-проводно изпълнение на електрическата инсталация.

В зависимост от формата на аварийния ток на утечката  $I_{\Delta}$ , който предизвиква заработването на ДТЗ съществуват основно три класа ДТЗ и техните под-видове:

- **Клас AC** – за консуматори с чисто синусоидален ток на утечката при авария, т.е. без наличието на хармоници и постояннотокови и пулсиращи съставки, електронни устройства захранвани от мрежов трансформатор, електрически съоръжения от клас II със двойна и усилена изолация без наличие на силова електроника. Такива консуматори са електронагревателните уреди и осветителните уредби с нажежаеми лампи без електронно регулиране на мощността и напрежението, портативни ръчни инструменти като дрелки и др.;
- **Клас A** – освен за консуматори със синусоидален ток на утечката, тези ДТЗ работят надеждно и при наличие на хармоници, пулсиращ постоянен ток или такъв със трионообразна форма на тока на утечката, върху който има насложена постояннотокова съставка със големина до 6 mA с произволна полярност. ДТЗ от клас A се монтират в токови кръгове, които захранват компютърна и офис техника, луминесцентно осветление, електродвигатели с тиристорно регулиране на оборотите, регулатори на мощност и димери за регулиране на светлинния поток на осветителни източници;
- **Клас Ai** – притежават качествата на ДТЗ от клас A, но имат повишена устойчивост срещу импулсни токове с амплитуда до 3 kA с форма на импулса 8/20  $\mu$ s в следствие на атмосферни пренапрежения;
- **Клас A si** – имат абсолютно същите характеристики като ДТЗ от клас A, но се отличават от тях с още по-голяма устойчивост от електромагнитни смущения. На практика при тези ДТЗ няма погрешни изключения в следствие на атмосферни пренапрежения в електроснабдителната мрежа, развъртане на мощни ел. двигатели и включване на мощни консуматори (работата им се гарантира при пренапрежения с импулсен ток до 5 kA и форма на импулса 8/20  $\mu$ s).

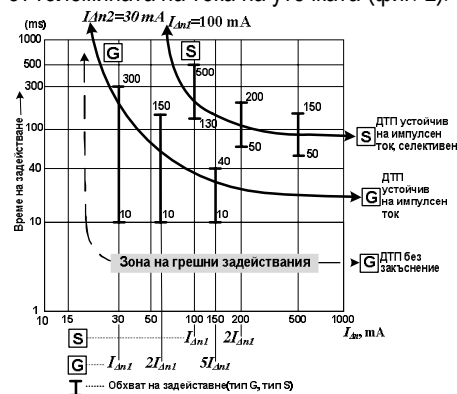
- **Клас SiE** -ДТЗ предназначени за работа във влажна и замърсена с агресивни вещества работна среда, имащи същите технически характеристики като на клас A si. Подходящи са за експлоатация в яhti, кораби, хранително-преработвателната промишленост, водни басейни, болнични заведения и др.;
- **Клас B** – притежават качествата на тези от тип A но при завишени изисквания: подходящи са при инсталации с променлив ток на утечката с честота до 1000 Hz; токове на утечката в резултат на мощни еднофазни и трифазни изправителни схеми; синусоидален и/или пулсиращ ток със силно изразена постояннотокова съставка; Такива ДТЗ се предлагат само от отделни производители и се използват предимно в индустрията.

Според бързодействието си ДТЗ се делят на два основни типа:

- **G(General type)** – ДТЗ с общо предназначение. Те могат да бъдат от клас AC или A и сработват без закъснение; Съгласно EN61008/9 тези ДТЗ имат устойчивост срещу импулсни токове с форма на импулса 8/20  $\mu$ s и интензивност непревишаваща 250 A в следствие на атмосферни пренапрежения.
- **S (Selectrive)** – селективни ДТЗ. Произвеждат като изпълнение AC и A. Имат вградено времезакъснително звено и минимално време на заработване от 40 ms. Прекъсвачите от този тип са за ток на утечка 100, 300 и 500 mA. Те са устойчиви на импулсни токове и пренапрежения като липсват погрешни изключения поради тази причина. Този тип ДТЗ се използват и за селективно задействане на последователно включени ДТЗ.

ДТЗ от класовете Ai и A si могат да бъдат със задействане без закъснение (тип G) или селективни (тип S).

Времето на заработване на ДТЗ зависи от техния тип и от големината на тока на утечката (фиг. 2).



Фиг. 2. Времетокови и защитни характеристики на ДТЗ

Максималните допустими времена на заработване на ДТЗ според стандарта IEC 61008 са представени в табл. 1.

Според чувствителността си ДТЗ се делят на:

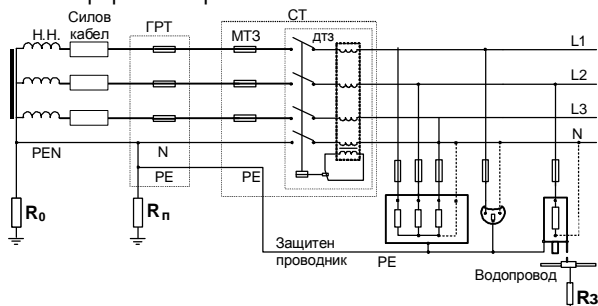
- **Високочувствителни** ( $I_{\Delta n} = 6 - 10 - 30$  mA) – използват се за защита от директен и индиректен допир. Основно приложение са намерили ДТЗ с  $I_{\Delta n} = 30$  mA
- **Средночувствителни** ( $I_{\Delta n} = 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1$  A) – използват се за защита от пожар и взрив, а също и при изграждане на селективни ДТЗ на няколко йерархични нива. За защита от пожар най-често се прилагат ДТЗ с  $I_{\Delta n} = 300$  mA;
- **Нискокочувствителни** ( $I_{\Delta n} = 3 - 10 - 30$  A).

Таблица 1

Тип ДТЗ	I <sub>н</sub> , А	I <sub>Δн</sub> , А	Стандартни стойности на времето за изключване (s) и минимално време на изключване (s) при ток на утечката I <sub>Δ</sub> (А), равен на:				
			I <sub>Δн</sub>	2I <sub>Δн</sub>	5I <sub>Δн</sub>	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500А	
G	всички	всички	0,3	0,15	0,04	0,04	максимално допустимо време на изключване
S	≥25 А	> 0.030	0,5	0,2	0,12	0,12	максимално допустимо време на изключване
			0,13	0,06	0,05	0,04	минимално време на изключване

### Акценти при избора, монтажа и експлоатацията на дефектнотоковите защиты

В нашата страна всички електроснабдителни мрежи за НН се изграждат по схемата TN-C, където от трафопоста до главното табло на сградите отиват три фазови проводника и един обединен в едно нулев и защитен проводник – PEN, който е многократно заземен според изискванията на наредба №3. При най-старите електрически инсталации на сградите, до крайните консуматори в домакинствата и учрежденията защитния и нулевия проводник остават обединени и ДТЗ, монтирани в ел. табло не могат да се използват. При рехабилитация на съществуващи електрически инсталации или при новоизграждащи се сгради, електрическата инсталация по закон се изпълнява по системата TN-C-S, при което в главното ел. табло на сградата обединеният PEN проводник се заземява повторно и разделя на два отделни проводника – N – проводник, който служи за захранване и PE – проводник, който се използва само и единствено за нуждите на защитното зануляване. При локална рехабилитация на електрическата инсталация е допустимо, разделянето на PEN проводника да се извърши и в локалното електрическо табло на входа на домакинството или учреждениято. Принципната схема на приложение на ДТЗ при електрически инсталации тип TN-C-S е илюстрирано на фиг. 3



Фиг. 3. Принципната схема на приложение на ДТЗ при електрически инсталации тип TN-C-S, където: ГРТ – главно разпределително табло; СТ – силово табло; МТЗ – максималнотокова защита;

### Изисквания при проектирането и монтажа на ДТЗ.

Електрическите инсталации, използващи ДТЗ, трябва да имат отделен защитен проводник (PE), който не трябва да преминава през сумиращия трансформатор на ДТЗ:

- Нулевият проводник на електрическата мрежа трябва да е изолиран от земята след ДТЗ с изолация еквивалентна на изолацията на фазовите проводници;
- Нулевите проводници на всеки токов кръг трябва да бъдат отделни;

- ДТЗ трябва да се монтира в етажните и апартаментните разпределителни табла на подходящо място, далеч от мощни комутационни апарати (Чл.1797 от Наредба №3);
- В разпределителни мрежи тип TN с голям ток на корпусно съединение, ДТЗ трябва да се използват заедно с бързодействащи автоматични прекъсвачи от тип B, L или C, предпазители или да се използват комбинирани устройства, съдържащи автоматичен прекъсвач и ДТЗ в общ корпус, т.н. дефектнотокови автомати;
- При монтиране на ДТЗ последователно трябва да се изпълняват изискванията за селективност. При изпълнение на ДТЗ на две и повече йерархични нива, ДТЗ, разположени до източника на захранване, трябва да имат време и ток на заработване три пъти по-големи в сравнение с тези защиты, разположени до консуматорите;
- В зоната на действие на ДТЗ нулевият работен проводник не трябва да има съединения със заземени елементи и защитния проводник;
- Не се допуска използването на ДТЗ в груповите линии, нямащи максималнотокова защита;
- Чл. 1794 от наредба №3 не допуска използването в жилищни сгради на дефектнотокови защиты, чиято работа се влияе от захранващото напрежение. В България използваните в жилищни сгради ДТЗ трябва да съответстват на БДС EN 61008-1 / 2-1 или на БДС EN 61009-1 / 2-1 (съответно EN 61008-1 / 2-1 и EN 61009-1 / 2-1). При тези дефектнотокови защиты изключването не се влияе от захранващото напрежение;
- В електрическите мрежи, захранващи консуматори с импулсни захранвания (компютри, монитори, телевизори, перални с регулатори на скоростта, видеоманетофони и други битови електроуреди с двойна изолация), е желателно да се използват ДТЗ тип А;
- В жилищните блокове се препоръчва ДТЗ да се монтира на индивидуалните електрически табла;
- Забранява се присъединяването на потребители към ДТЗ, чието изключване може да доведе до опасни последици, застрашаващи човешки живот - това са противопожарните уредби, асансьорите, животоподдържащи системи в болничните заведения и т.н.;
- Ако ДТЗ е предназначена за защита от въздействието от електрически ток и от възпламеняване, то тя трябва да изключва фазовия и нулевия проводник;
- На въводите в зданията трябва да има система за изравняване на потенциалите чрез обединяване на следните проводящи части: защитния и нулевия проводник, стоманените тръби на комуникациите на зданията и между зданията, металните конструкции на железобетонните основи, металните тръби на централното парно и вентилационните уредби;
- Сумарният ток на утечка на защитавания токов кръг с отчитане на преносните и стационарни потребители не трябва да надвишава 1/3 от номиналния диференциален ток на ДТЗ. Ако няма данни за ток на утечката, според Наредба №3 приблизително може да се приеме, че на 1 А товарен ток отговаря 0.4 mA ток на утечка на потребителите (табл. 2);

Таблица 2

Практическа оценка на перманентни токове на утечка, генерирани от различни консуматори.

Консуматор:	Утечка:	Пример	
		апартамент	малък офис
ютия	0.75 mA	→ 1 x 0.75 mA	
перална машина	3.5 mA	→ 1 x 3.5 mA	
нагревателни електроуреди	0.75 - 5 mA (0.75mA/1kW)	→ 3 x 1.5 mA	→ 2 x 1.5 mA
персонален компютър	3.5 mA	→ 1 x 3.5 mA	→ 5 x 3.5 mA
принтер	1 mA	→ 1 x 1 mA	
ксерокс, факс	1.5 mA	→ 1 x 1.5 mA	
		↓	↓
		12.25 mA	23 mA
		x	x
		0.8	0.8
		# 10 mA	# 19 mA

- За повишаване на нивото на защита от възпламеняване при повреди в изолацията на съоръжения, когато стойността на тока на утечката е недостатъчна за заработване на максималнотокова защита на входа на сградата се препоръчва поставянето на дефектно-токовата защита с диференциален ток на заработване 300 mA;
- Препоръчва се в електрически мрежи, захранващи консуматори 0 и I категории, при крайни консуматори без обслужващ персонал и помещения с повишена или особена опасност от поражение от електрически ток да се използват ДТЗ тип G и S, които имат време на закъснение най-малко 10 ms, и не задействат при пренапрежения;

### Най-често срещани причини за грешни действия при ДТЗ

При инсталиране и експлоатация на ДТЗ могат да се получат погрешни заработвания на защитата. Това се дължи преди всичко на грешки в свързването на електрическата инсталация или неправилен избор на ДТЗ и по рядко в повреден защитен прекъсвач. Основните причини за погрешно заработване или лоша чувствителност на ДТЗ са:

- Използване на чувствителни ДТЗ в електрически инсталации с голям активен или капацитивен ток на утечка в нормален режим на работа;
- При монтирането на ДТЗ на входа на въздушен електропровод трябва да се има предвид и опасността от заработване вследствие на атмосферните пренапрежения. За да се избегнат такива лъжливи заработвания е необходимо да се избират дефектно-токови защити с повишена импулсна устойчивост или допълнително да се поставят нелинейни ограничители на пренапрежение;
- Използване на ДТЗ в електрически инсталации без защитен проводник;
- Наличие на връзка между нулев проводник и защитен проводник или лоша изолация на нулевия проводник спрямо „земя“ след ДТЗ;
- Наличие на токова верига (фазов или нулев проводник) не минаваща през сумиращия трансформатор;
- Наличие на връзка между нулевите проводници на защитавания и друг токов кръг;
- Размяна на местата на входните и изходни клеми на проводниците;

- Наличие на електромагнитни полета с висок интензитет предизвикани от токове на късо съединение през близкостоящи комутационни апарати;
- При недобро полагане на електрическата инсталация (механични наранявания на изолацията на проводниците и др.) също възникват токове на утечка. Когато при недобре изпълнена електрическа инсталация много токови кръгове се защитават от една ДТЗ може да възникне същият проблем, като горния – токовете на утечка се сумират и могат да доведат до чести случайни изключвания. В такива случаи е нужно да се намали броя на токовите кръгове, защитавани от една ДТЗ. Препоръчително е линии, защитени с ДТЗ да не се изпълняват с мостов проводник;

### Демонстрационен физически модел за симулиране на функционалността на ДТЗ

Посредством мащабни коефициенти, гарантиращи пълно математическо подобие, параметрите на оригинала се привеждат към параметрите на модела. В системата на действителни единици привеждането се извършва посредством съотношенията:

$$m_U = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot U_M} = \frac{U_{of}}{U_{mf}} = 6,52 \tag{2}$$

$$m_I = \frac{I_0}{I_M} = 1 \tag{3}$$

$m_I = 1$  - избран за пълно съответствие по ток между модела и оригинала;

$$m_Z = \frac{z_0}{z_M} = \frac{m_U}{m_I} = 6,52 \tag{4}$$

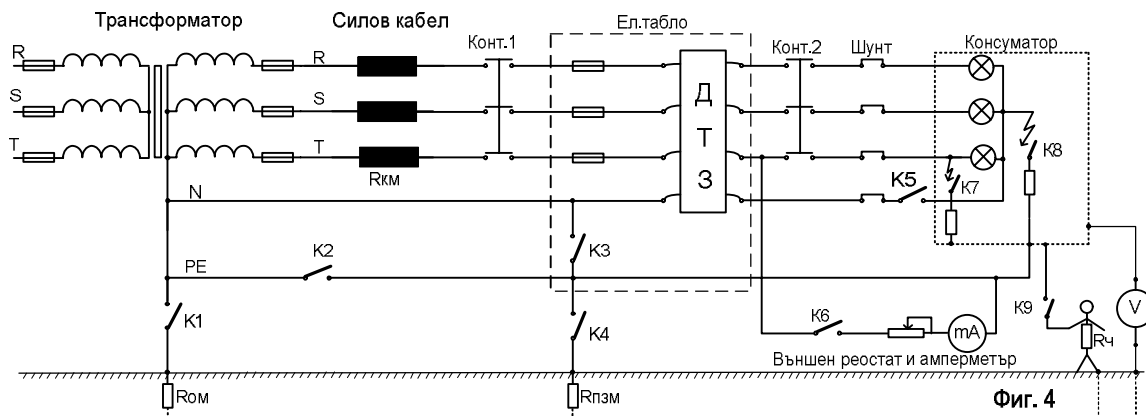
$$m_S = \frac{S_0}{S_M} \tag{5}$$

, където

$U_0, I_0, z_0, S_0$  – са съответно линейното напрежение, ток, съпротивление и мощност на оригинала (реалната мрежа);  $U_M, I_M, z_M, S_M$  – напрежение, ток, съпротивление и пълна мощност на модела;

$m_U, m_I, m_Z, m_S$  - мащабни коефициенти по напрежение, ток, съпротивление (импеданс) и мощност;

Освен гореспоменатите мащабни коефициенти при създаване на трифазни модели се използват и мащабни коефициенти  $m_R, m_L, m_C, m_f$  и  $m_i$ , съответно по активно съпротивление, индуктивност, капацитет, честота и време.



Понеже при електрически мрежи за ниско напрежение и малки дължини на електропроводите индуктивностите и капацитетите са пренебрежимо малки, те се пренебрегват, т.е.  $C \approx 0$  и  $L \approx 0$ , следователно съответните мащабни коефициенти също няма да се използват. Мащабните коефициенти по честота и време се приемат  $m_f = 1$  и  $m_t = 1$ , а  $m_z = m_R(C \approx 0 \text{ и } L \approx 0)$ .

Принципна схема на разработения трифазен физически модел е показана на фиг. 4. Ключът К7 служи за имитиране на повреда в izolацията с протичане на изключвателен ток на утечката, а ключът К9 имитира допир на човек до корпуса на консуматора. Веригата комутирана от ключ К6, съдържаща външен реостат и милиамперметър и се използва за измерване на диференциалния ток на заработване на ДТЗ, като опитът завършва с изключване, а измерената стойност на тока се приема за действителна. Контактите Конт.1 и Конт.2 служат за включване и изключване на имитираната трифазна електрическа инсталация преди и след силовото електрическо табло.

#### Привеждане на параметрите на оригинала към параметрите на трифазния модел

1) *Силов кабел покриващ разстоянието трафопост-силово табло на сградата* – замества се в модела за всяка фаза с активно съпротивление със следната стойност:

$$R_{KM} = \frac{R_K}{m_z} = \frac{r_0 \cdot L}{m_z} = \frac{0,268 \cdot 0,5}{6,53} = 0,021 \Omega$$

2) *Моделиране на съпротивленията на работния заземител на неутралата в трафопоста и повторния заземител при електрическото табло в сградата* – Според БДС при мрежи с ефективно заземен звезден център и ниско напрежение, съпротивлението на заземяване при силовия трансформатор на трафопоста трябва да има стойности  $R_0 \leq 4\Omega$ , затова се избира граничния случай  $R_0 = 4\Omega$ . Съпротивлението на повторния заземител при сградата трябва да бъде  $R_{пз} \leq 10\Omega$ , затова се избира  $R_{пз} = 10\Omega$ . Двете съпротивления се привеждат към параметрите на модела:

$$R_{0M} = \frac{R_0}{m_z} = \frac{4}{6,52} = 0,6134\Omega$$

$$R_{пзМ} = \frac{R_{пз}}{m_z} = \frac{10}{6,52} = 1,533\Omega$$

3) *Моделиране на съпротивлението на човешкото тяло* – приема се стандартно  $R_ч = 1 \text{ k}\Omega$ . Приведено към параметрите на модела се получава:

$$R_{чМ} = \frac{R_ч}{m_z} = \frac{1000}{6,52} = 153,37\Omega$$

Съпротивленията на модела са навити от канталов съпротивителен проводник, обезпечавайки нужното съпротивление.

#### Симулиране на функционалността на ДТЗ с помощта на разработения трифазен модел

За целта на експеримента е изследван четири полюсна ДТЗ на фирмата "MERLIN GERIN" с каталожни данни:

- номинален диференциален ток на утечка  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ ;
- номинално линейно напрежение  $U_n = 400 \text{ V}$ ;
- номинален работен ток  $I_n = 25 \text{ A}$ ;
- устойчивост при к.с.  $I_{nc} = I_{dc} = 10 \text{ kA}$

1) *Измерване на тока на заработване* – за реализиране на експеримента са затворени ключове К1, К3, К4 и К5.

Използвани са външен набор от реостати и цифров милиамперметър с възможност за запаметяване на най-голямата измерена стойност на тока. Направени са две измервания при плавно увеличаване тока на утечката до заработване на прекъсвача. Резултатите са както следва: 1 опит -  $I_{\Delta 1} = 22,32 \text{ mA}$ ; 2 опит -  $I_{\Delta 2} = 22,28 \text{ mA}$ . Измереният диференциален ток на заработване е получен като средноаритметична стойност от двата опита:

$$I_{\Delta CP} = \frac{I_{\Delta 1} + I_{\Delta 2}}{2} = 22,3 \text{ mA} \quad (6)$$

Диференциалния ток на заработване трябва да е в диапазона  $0,5 I_{\Delta n} \leq I_{\Delta CP} \leq I_{\Delta n}$ ,  $22,3 \leq I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ . Условието е изпълнено, следователно ДТЗ е изправна.

2) *Изследване на поведението на ДТЗ при моделиране на различни видове електрически мрежи и аварии*

С помощта на трифазния модел е възможно имитиране на функционалността на ДТЗ при електрически мрежи тип TN-C-S, TN-S, TT и IT с изключение на TN-C. Реализацията на отделните типове ел. мрежи е съгласно:

- TN-C-S система - реализира се като се включат ключове К1, К3, К4 и К5;
- TN-S система - реализира се като се включат ключове К1, К2, К4 и К5;
- TT система - реализира се като се включат ключове К1, К4 и К5;
- IT система - реализира се като включим ключове К4 и К5.

Поведението на ДТЗ при реализация на различните видове мрежи при различни аварии е систематизирано в табл. 2.

Таблица 3

Видове повреди	Защитата сработва да/не			
	TN-C-S	TN-S	TT	IT
Прекъсване на неутралния проводник (изключен ключ K5)	НЕ	НЕ	НЕ	
При пробив в изолацията на коя да е фаза към корпуса на консуматора	ДА	ДА	ДА	
Пробив на изолацията от звездния център на консуматора към корпус при симетричен трифазен товар (включен ключ K8) и наличен или изключен неутрален проводник	НЕ (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	НЕ (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	НЕ (При симетричен трифазен товар, звездния център има 0-лев потенциал)	
Пробив на изолацията от звездния център на консуматора към корпус при несиметричен трифазен товар (изваждаме кой да е шунт на фаза на консуматора), вкл. ключ K8	1) ДА - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ K5) защитата сработва;	1) ДА - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ K5) защитата сработва;	1) ДА - при прекъснат неутрален проводник (изключен ключ K5) защитата сработва;	Защитата НЕ сработва при нито един аварийен режим, следователно ДТЗ при IT мрежи не би трябвало да се използват
	2) НЕ при работещ неутрален проводник (включен ключ K5) защитата не сработва;	2) НЕ при работещ неутрален проводник (включен ключ K5) защитата не сработва;	2) НЕ при работещ неутрален проводник (включен ключ K5) защитата не сработва;	
Прекъснат защитен проводник – РЕ и пробив на изолацията фазов проводник - корпус	НЕ	НЕ	НЕ	
Прекъснат защитен проводник РЕ и пробив на изолацията фазов проводник-корпус при наличие на човек осъществил контакт с корпуса на повреденото съоръжение.	ДА	ДА	ДА	
При отпадане на заземителя на сградата и пробив на изолацията между коя да е фаза и корпуса на консуматора	ДА	ДА	1) НЕ	при допир на човек до корпуса
			2) ДА	

## Заключения

ДТЗ е удачно да се използват при електроразпределителните мрежи за ниско напрежение TN-C-S, TN-S и TT. При TN-C системи се допуска използването единствено на портативни дефектнотокови прекъсвачи, които се включват непосредствено в розетката на контакти тип шуко с работещо защитно зануляване. Изборът на класа и вида на ДТЗ трябва да е съобразен с:

- Предназначението на защитата;
  - Условието и правилата за монтаж на ДТЗ;
  - Големината на токовете на утечка в защитаваната инсталация в нормален режим на работа;
  - Тока на заработване на максималнотоковата защита;
  - Комутационните възможности на ДТЗ;
  - Вида на електрическите консуматори включени в защитаваната инсталация и формата на токът на утечката им;
  - Електромагнитната съвместимост на ДТЗ със защитаваната електрическа инсталация;
  - Селективността на ДТЗ-ти, когато те се изпълняват на няколко йерархическите нива.
- Разработеният трифазен модел може да се използва със следните цели:
- Демонстрации и симулиране на функционалните възможности на ДТЗ;
  - Приложение в лабораторни упражнения със студенти и курсанти;
  - Измерване на диференциалния ток на заработване на ДТЗ;
  - Измерване на допирните напрежения при протичане през изолацията на съоръжението на аварийен ток с определена стойност.

Основните предимства на разработения трифазен модел са:

- Използването на безопасно ниско напрежение, което е галванично разделено от разпределителната мрежа за ниско напрежение. Това прави разработения модел напълно безопасен при работа;
- Има пълно математическо съответствие между параметрите на разработения модел и параметрите на реална електрическа мрежа за ниско напрежение посредством използваните мащабни коефициенти и следователно, получените резултатите от измервания могат да се приемат за действителни;

Като недостатък може да се изтъкне единствено, че поради използването безопасно ниско напрежение, фабричният тест-бутон за проверка на работоспособността на ДТЗ не функционира.

## Литература

- Schonek, J., *Residual current devices in LV*, Cahier technique no. 114, Schneider Electric, 2006;
- Технологичен дом, *Дефектнотокова защита. Част I. Нормативни изисквания, принцип на действие, видове устройства*, брой 5, Юни 2009, ISSN 1312-6806
- Технологичен дом, *Дефектнотокова защита. Част II. Параметри и структура на устройствата, инсталационни спецификации, монтаж и експлоатация.*, брой 6, Юли-Август 2009, ISSN 1312-6806;
- Ненова З. П., Г. Ц. Велев, *Измервания и контрол в безопасността на труда*, „Габрово Принт“- ЕООД, 2008, ISBN: 978-954-436-024-5;

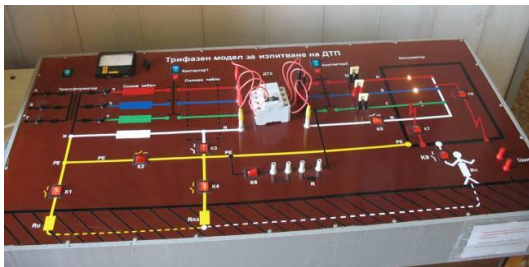
Сидеров, С., С.Етърски, В. Багаров, П. Борисов. *Справочник по енергетика. Том 3*, София, ABC Техника, 1997, ISBN 954-8873-14-1.

Джустров, К., Д. Костов, С. Чобанов, М. Ментешев, Апарати за защита от токови утечки в руднични мрежи с напрежение 220 V AC., сп. "Минно дело и геология", 2012/2-3.

## Приложения

Външен вид на разработения трифазен модел за симулиране на функционалността на ДТЗ

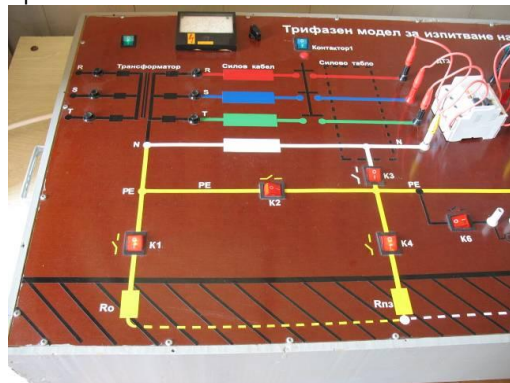
Приложение П.1



Приложение П.2



Приложение П.3



Приложение П.4

