

**ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЗАПАС ПО ЧУВСТВИТЕЛНОСТ И ГРАНИЧНИ УСЛОВИЯ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА НЕСЕЛЕКТИВНА ТОКОВА ОТСЕЧКА В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ****Медиха Мехмед-Хамза<sup>1</sup>, Пламен Станчев<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Медицински университет-Варна, кат. „Медицинска апаратура, електронни и информационни технологии в здравеопазването“*<sup>2</sup>*Технически университет-Варна, кат. „Електроенергетика“***DETERMINATION OF RESERVE BY SENSITIVITY AND BOUNDARY CONDITIONS WHEN USING UNSELECTIVE INSTANTANEOUS OVERCURRENT RELAY PROTECTION IN MEDIUM VOLTAGE ELECTRICAL GRIDS****Mediha Mehmed-Hamza<sup>1</sup>, Plamen Stanchev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Medical University of Varna, Department of Medical Equipment, Electronic and Information Technologies in Health care, 9002 Varna, Bulgaria**mediha.hamza @mu-varna.bg*<sup>2</sup>*Technical University of Varna, Department of Electric Power Engineering, 9010 Varna, Bulgaria, p.stanchev@tu-varna.bg***Abstract**

*This paper discusses the conditions for setting up an unselective instantaneous overcurrent relay protection, which is used to protect medium voltage power lines that supply transformer medium/low voltage or high-power consumers. Expressions for the reserve coefficient of sensitivity and boundary conditions under which the unselective instantaneous overcurrent relay protection meets the requirements for selectivity and sensitivity are derived. A medium voltage electrical grid for 20 kV is considered. The derived formulas can be used to assess if setting of the unselective instantaneous overcurrent relay protection meet the requirements for selectivity and protection sensitivity. The obtained results can be used for setting the protection in the operation of medium voltage grids.*

**Keywords:** selectivity and sensitivity of relay protections, medium voltage grids, unselective instantaneous overcurrent relay protection.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

От нормалната работа на електрическите мрежи зависи преноса, разпределението и потреблението на електрическата енергия. Нормалния режим на работа е свързан с доставянето на електрическа енергия с определени качествени показатели. В нормативните документи са описани конкретните изисквания към показателите за качеството на електрическата енергия. [1]. При възникване на повреда или ненормален режим на работа на съоръженията в електрическата мрежа се нарушава нормалната работа. За

ограничаване на последствията от аварийния режим на работа на електрическата мрежа се изграждат релейни защиты, които трябва да определят повредения елемент и да го изключат. Основните изисквания към релейните защиты са селективност, бързодействие, чувствителност и сигурност. От избора на вида защита и правилно определяне настройката на защитата зависи селективното и бързо изключване на повредата.

Целта на публикацията е да се изведат зависимости за определяне на запас по чувствителност и граничните условия при на-

стройка на неселективна токова отсечка (НСТО) в електрически мрежи средно напрежение.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

НСТО се използва в електрически мрежи средно напрежение за защита на изводи, захранващи трансформаторни постове или потребители с големи единични мощности. Особено ефективна е НСТО при последователно свързване на електропровод с трансформатор [2, 3, 4, 5]. Настройката на защитата обхваща изчисляване тока на заработване и коефициента на чувствителност [2, 6]. Настройката по ток се определя по:

$$I_{33} = K_c \cdot I_{kc \max HH}^{(3)}, \text{ A} \quad (1)$$

където:  $I_{33}$  – първичен ток на заработване на токовата отсечка;  $I_{kc \max HH}^{(3)}$  – ток на страна средно напрежение при трифазно късо съединение на шини ниско напрежение;  $K_c$  – коефициент на сигурност.

За стойности на коефициента на сигурност се използват 1,2 за релейни защиты, изградени с електромеханични релета и 1,1 за цифрови релейни защиты.

За тока  $I_{kc \max HH}^{(3)}$  се взема ток на страна средно напрежение при трифазно късо съединение на шини ниско напрежение на електрически най-близкия и с най-голяма мощност мрежов трансформатор средно напрежение/ниско напрежение (СрН/НН). При изчисляване настройката на защитата е необходимо да се направи проверка за отстройване от ударните намагнитващи токове на всички мрежови трансформатори СрН/НН, захранвани от съответния извод. Токът на заработване на защитата по това условие се изчислява по формулата [6]:

$$I_{33} = K_c \cdot 5 \cdot \sum I_n, \text{ A} \quad (2)$$

където:  $\sum I_n$  – сумата от номиналните токове на всички трансформатори, захранвани от съответния извод;  $K_c = 1,2$  за релейни защиты, изградени с електромеханични релета и 1,1 за цифрови релейни защиты.

Тази проверка е необходима, за избягване неправилно изключване на извода от ударните намагнитващи токове на мрежовите трансформатори в момента на неговото включване

Неселективната токова отсечка задейства без закъснение.

Чувствителността на НСТО се изчислява по [6, 7, 8]:

$$K_y = \frac{I_{kc \min}^{(2)}}{I_{33}} \geq 1,5 \quad (3)$$

където  $I_{kc \min}^{(2)}$  е токът при двуфазно късо съединение (к.с.) на шини средно напрежение на съответната подстанция при минимален режим.

Посочно действие на защитата е необходимо, когато към извода има свързани генериращи източници и зависи от големината на тока на к.с. от тези източници и определената настройка на защитата.

### Определяне на коефициент на запас по чувствителност на НСТО

За НСТО може да се изведе формула за определяне на коефициент на запас по чувствителност, която отчита изискванията за селективност и чувствителност на защитата, като същевременно показва при конкретната настройка на защитата с какъв запас по чувствителност тя работи [9, 10, 11].

При настройка на НСТО по формула (1) и след заместване във формула (3) се извежда формула за коефициент на запас по чувствителност:

$$K_{\text{занНСТО}} = \frac{I_{kc \min \text{нач}}^{(2)}}{1,5 \cdot K_c \cdot I_{kc \max HH}^{(3)}} \quad (4)$$

$$K_{\text{занНСТО}} \geq 1$$

### Определяне на гранично условие за сумата от номиналните токове на мрежовите трансформатори, при която защитата ще изпълнява изискванията за селективност и чувствителност.

При изчисляване настройката по ток на защитата по формула (1) е необходимо да се направи проверка за отстройване от ударните намагнитващи токове на всички мрежови трансформатори по формула (2). Ако така изчислената настройка по ток е по-голяма в сравнение с формула (1), то определящо условие за настройка на защитата по ток е по формула (2). На базата на изискването за чувствителност на защитата по формула (3) и замествайки в нея форму-

ла (2) може да се изведе гранично условие за сумата от номиналните токове на трансформаторите, захранвани от извод средно напрежение, при която защитата ще изпълнява изискванията за селективност и чувствителност:

$$\Sigma I_n \leq \frac{I_{к\text{с} \text{ min нач}}^{(2)}}{5 \cdot 1,5 \cdot K_c} \quad (5)$$

### Резултати и анализ

Ток на заработване на НСТО изчислен по формула (1) зависи от мощността на трансформаторите СрН/0,4 kV. За извод от електрически мрежи 20 kV в таблица 1 са представени изчислените стойности за тока на заработване на НСТО при използване на релейни защиты изградени с електромеханични релета и цифрови релейни защиты в зависимост от мощността на трансформатора.

Данните за  $I_{к\text{с} \text{ max НН}}^{(3)}$  са за големината на тока на страна 20 kV от [6].

**Таблица 1.** Ток на заработване на НСТО

S <sub>н</sub> , kVA	I <sup>(3)</sup> <sub>к<sub>с</sub> max НН</sub> , А	I <sub>з<sub>н</sub>СТО</sub> , А	
		ЕМРЗ	ЦРЗ
250	172	206	189
320	220	264	242
400	275	330	303
560	385	462	424
630	433	520	476
1000	458	550	504
1600	733	880	806

При определяне на коефициента на запас по чувствителност на НСТО е необходимо да се знае големината на тока при двуфазно к.с. на шини средно напрежение на съответната подстанция при минимален режим на захранване. Изчислени са стойностите за коефициента на запас по чувствителност при използване на захранващ силов трансформатор с мощност 25 MVA и 40 MVA в електрическа мрежа 20 kV.

В таблица 2 са представени получените резултати за  $K_{з\text{ан} \text{ НСТО}}$  при захранващ силов трансформатор с мощност 25 MVA.

**Таблица 2.** Стойности на  $K_{з\text{ан} \text{ НСТО}}$

S <sub>н</sub> , kVA	Стойности при K <sub>к</sub> =1,5	
	ЕМРЗ	ЦРЗ
250	17,83	19,45
320	13,94	15,21
400	11,15	12,17
560	7,97	8,69
630	7,08	7,73
1000	6,70	7,31
1600	4,18	4,57

В таблица 3 са представени резултатите за  $K_{з\text{ан} \text{ НСТО}}$  при захранващ силов трансформатор с мощност 40 MVA.

**Таблица 3.** Стойности на  $K_{з\text{ан} \text{ НСТО}}$

S <sub>н</sub> , kVA	Стойности при K <sub>к</sub> =1,5	
	ЕМРЗ	ЦРЗ
250	29,46	32,14
320	23,03	25,13
400	18,43	20,10
560	13,16	14,36
630	11,70	12,77
1000	11,06	12,07
1600	6,91	7,54

Много често при изчисляване настройката на НСТО определящото условие е отстройване от токовете на намагнитване на трансформаторите, захранени от извода. Това от своя страна определя броя и мощността на трансформаторите, които се захранват от извода. От изведената формула 5 при известен ток при двуфазно к.с на шините на подстанцията в минимален режим се определя граничната стойност на сумата от номиналните токове на трансформаторите средно напрежение/ниско напрежение, захранени от извода средно напрежение. При така определената гранична стойност се изпълняват изискванията за селективност и чувствителност на защитата.

В таблица 4 са представени получените резултати за граничното условие при настройка на защитата на извод 20 kV при захранващ силов трансформатор с мощност 25 MVA и 40 MVA.

**Таблица 4.** *Гранични условия при настройка на защитата на извод 20 kV.*

Мощност на силовия трансформатор		Стойности при $K_n=1,5$	
		ЕМРЗ	ЦРЗ
25 MVA	$\Sigma I_n \leq A$	613	669
40 MVA		1014	1106

За да бъде определящо условие при изчисляване настройката на НСТО тока на страна средно напрежение при трифазно късо съединение на шини ниско напрежение на електрически най-близкия трансформатор с най-голяма мощност е необходимо настройката на защитата спрямо сумата от намагнитващите токове на трансформаторите захранени от извода да бъде по-малка или равна. В таблица 5 са представени резултати за сумата от номиналните токове на трансформаторите, захранени от извода 20 kV, при която настройката по ток на НСТО ще се определи от тока при трифазно късо съединение на шини ниско напрежение.

**Таблица 5** *Сума от номиналните токове на трансформаторите, захранени от извод 20 kV*

$S_n$ , kVA	250	320	400	560	630	1000	1600
$\Sigma I_n$ , A	34	44	55	77	87	92	147

При изчисляване настройката по ток на НСТО на изводи 20 kV спрямо тока на страна средно напрежение при трифазно к.с. на шини ниско напрежение на електрически най-близкия трансформатор с най-голяма мощност защитата изпълнява изискванията за селективност и чувствителност при всички трансформатори с мощност до 1600 kVA.

По големи стойности за коефициента на запас по чувствителност се получават при използване на цифрови релейни защиты, защото се използва по малък коефициент на сигурност.

Определящо условие при изчисляване настройката на НСТО по-често се получава именно отстройването от намагнитващите токове. Например за извод 20 kV, при който настройката по ток е определена от к.с. на страна ниско напрежение на трансформатор с мощност 630 kVA, тока на работ-

ване на защитата е 520 А при използване на ЕМРЗ. От таблица 5 се вижда, че сумата от номиналните токове на мрежовите трансформатори трябва да е до 87 А. Като пример извода трябва да бъде с 3 мрежови трансформатора с мощност 250 kVA, 4 с мощност 400 kVA и един с мощност 630 kVA.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изведена е формула за определяне на запаса по чувствителност на НСТО, която отчита изискванията за селективност и чувствителност на защитата. Същевременно показва при конкретната настройка на защитата с какъв запас по чувствителност тя работи.

Изведена е формула за граничното условие за сумата от номиналните токове, при която защитата ще изпълнява изискванията за селективност и чувствителност.

Представени са резултати за настройка на НСТО за изводи 20 kV, които могат да бъдат използвани в процеса на експлоатация.

## REFERENCE

- [1] БДС EN 50160:2010/A2:2020, Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks
- [2] Fedoseev A. M. Relay Protection of the Electric Power Systems. Moscow, Energy. 1976
- [3] Anderson P. M. Analysis of Faulted Power Systems. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1995, Power Systems Engineering Series.
- [4] Blackburn J. L. Domin T. J., Protective relaying: Principles and applications, third edition. 2006.
- [5] Anderson M. P. Power system protection. IEEE Press, New York. (1998)
- [6] Instruction for organization of relay protections and calculation of their settings in the medium voltage distribution networks of TSO LTD Bulgaria in Bulgarian
- [7] Nasser D. T. Power system modelling and fault analysis. Theory and practice. Elsevier Ltd. 2008
- [8] IEC 60909 - Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents
- [9] Mehmed-Hamza M, Andreev S, Zapas po chuvstvitelnost na tokova otsechka za izvodi 20 kV, zhranvashti vazlovi stancii. in Sbornik dokladi. Mezhdunarodna nauchno-tehnicheska konferencia Elektroenergetika' 2010, 2010, vol. 1, pp. 261–266.

[10] M. Mehmed-Hamza, “Effectiveness of selective instantaneous overcurrent protection relays for feeders 20 kV,” in XVIIth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2009, Proceedings, 2009, vol. 1, pp. 139–144.

[11] M. Mehmed-Hamza and P. Stanchev, “Coordination of the relay protection settings against phase to phase faults in electric power lines 20 kV,” in 2018 10th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2018, 2019.