

ОГРАНИЧИТЕЛИ НА ТОК НА КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ – ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Николай Караджов¹, Кръстьо Хинов², Георги Ганев³

FAULT CURRENT LIMITER - PARAMETERS AND CHARACTERISTICS

¹TU-Sofia, e-mail: k_hinov@yahoo.co.uk

²TU-Sofia, e-mail: n_karadjov@abv.bg

³TU-Sofia, branch Plovdiv, e-mail: gganev@tu-plovdiv.bg

Abstract: The aim of this paper is to present some fault current limiters. The main characteristics are described in details especially fault current limiters with saturated cores. Comparative analysis of characteristics of different structural by this kind fault current limiter is presented.

I. УВОД

Максималната стойност на тока на късо съединение (к.с.) е един от най-важните оразмерителни параметри, определящ габаритите и цената на електросъоръженията [9,10,12]. Наред с това ограничаването на токовете на к.с. води както до намаляване на максималните токове на к.с. за част от съществуващата апаратурата като трансформатори, електропроводи, прекъсвачи и шини [8], така и до подобряване на устойчивостта на системата [8] и на някои от показателите за качеството на електрическата енергия [4,7].

Понастоящем, ограничаването на тока на к.с. в електрическата система става или чрез използване на предпазители [13], на прекъсвачи [12], на въздушни реактори или трансформатори с повишено разсейване [5] или чрез промяна в конфигурацията на мрежата [2].

През последните години усилено се разработват нови алтернативни устройства. [8]. Една група от тези устройства са т.нар. ограничители на ток на късо съединение. Ограничителят на ток на к.с. (ОТкс) е устройство предназначено да ограничи ударния и трайния ток на к.с. до стойности които не предизвикват значително термично и електродинамично натоварване на електросъоръженията и при които защитната апаратура сравнително лесно ще изключи.

Съществуват различни класификации на известните ОТкс.

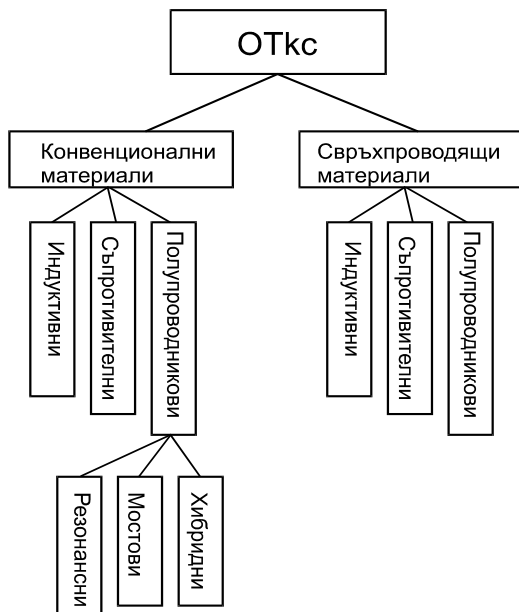
Според CIGRE WG A3.10, ОТкс са пасивни или активни в зависимост от това променя ли се техният импеданс при преминаване от режим на изчакване в режим на токоограничаване [1].

Според типа на използваните материали, ОТкс се разделят на две групи – ОТкс изработени от конвенционални материали и ОТкс използващи свръхпроводящи материали (фиг.1) [17].

В зависимост от това какъв е характерът на преобладаващия импеданс, ОТкс могат да бъдат индуктивни (с насищане се магнитопровод) или съпротивителни [16]. Особено място заемат полупроводниковите ОТкс – при тях се използват нелинейни индуктивности или съпротивления и мощни полупроводникови елементи осигуряващи подходящ режим на работа на устройството [3].

За всеки един от посочените видове ОТкс са присъщи едни или други предимства или недостатъци. Напр. характерът на преобладаващия импеданс определя големината на загубите в режим на изчакване и времеконстантата, съответно бързодей-

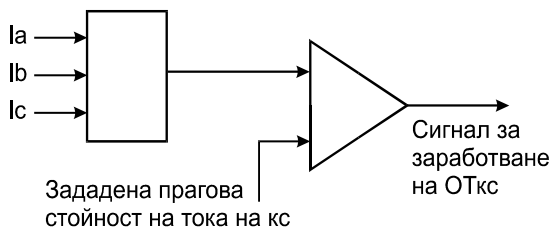
ствието на ОТкс [16]. За намаляване на загубите при ОТкс все по-често се използват свръхпроводящи материали, но това оскъпява конструкциите им и налага ползването на криогенни системи [4].



Фиг.1

В доклада се разглеждат ОТкс изработени от конвенционални материали с насищан магнитопровод (ОТкс от индуктивен тип). Типичната конструкция на ОТкс от индуктивен тип съдържа две бобини – работна и управляваща, а за да се увеличи индуктивността в режим на токоограничаване се използва нелинейността на характеристиката на намагнитване на ферромагнитния магнитопровод. В режим на изчакване магнитопроводът е наситен от намагнитващата намотка и индуктивността е пренебрежимо малка. При възникване на к.с., нелинейната бобина излиза от насищане и нейната индуктивност нараства, което води и до ограничаване на тока. Съществуват различни конструктивни варианти в зависимост от формата на магнитната система, от работната и от намагнитващата намотка [11].

II. ПАРАМЕТРИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ОТКС С НАСИЩАН СЕ МАГНИТОПРОВОД



Фиг.2

Типичната блокова схема на индуктивен ОТкс е показана на фиг.2. Трите фазови тока се сравняват с предварително зададената стойност на тока на к.с. Протичането на ток по-голям от „праговата” стойност на тока на к.с. предизвиква промяна на състоянието на ОТкс – индуктивността му се променя от едната крайна стойност в друга стойност и от режим на изчакване се преминава в режим на токоограничаване. Тази

промяна се реализира чрез намаляване на магнитната индукция в магнитопровода и преминаване от зоната на насищане ($B > B_{sat}$) към ненаситения участък ($B < B_{sat}$), където специфичната магнитна проницаемост μ_r е значително по-голяма отколкото $\mu_{r,sat}$.

Имайки предвид предназначението и принципът на действие на ОТкс може се дефинират три основни групи параметри:

а/ Динамични параметри. Те определят бързодействието при заработване и степента на ограничаване на тока на к.с., възможността на устройството да работи при тежки топлинни и електродинамични натоварвания. В тази група се включват:

- време на заработване (t_{on});
- време за възстановяване (t_{off});
- индуктивност в режим на изчакване (L_{min});
- индуктивност в режим на токоограничаване (L_{max});

- пад на напрежение в режим на изчакване (ΔU);
- коефициент на ограничаване на ударния ток ($K_m = I_{max} / I_{max, FCL}$);
- коефициент на ограничаване на трайния ток на к.с. ($K = I / I_{FCL}$);
- продължителен ток на термична устойчивост;
- кратковременен ток на термична устойчивост;
- ток на динамична устойчивост.

б/ Статични параметри. Дефинират условията на работа в режим на готовност, класа на изолацията и областта на приложение на ОТкс:

- номинално напрежение на работната бобина;
- номинално напрежение на управляващата бобина;
- номинален ток на работната бобина;
- номинален ток на управляващата бобина;
- максимален ток на к.с.;

в/ Конструктивни параметри. Те определят спецификата на използваната конструкция:

- маса на стоманения магнитопровод; тип на електротехническата стомана;
- средна дължина на магнитната силова линия;
- брой навивки на работната намотка;
- сечение на проводниците, използвани за изработка на работната намотка;
- брой навивки на управляващата намотка;
- сечение на проводниците, използвани за изработка на управляващата намотка;
- размери на работната намотка.
- размери на управляващата намотка.

Като типични за ОТкс характеристики може да се посочат:

- загуби в магнитопровода/намотките в зависимост от намагнитващия ток ($\Delta P(I_{dc})$);
- пад на напрежение върху работната намотка във функция на намагнитващия ток ($\Delta U(I_{dc})$); време на заработване в зависимост от намагнитващия ток ($t_{on}(I_{dc})$) и др.

III. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

На база дефинираните параметри може да се направи и сравнителен анализ на различни ОТкс (табл. 1.).

Табл. 1.

Пример N°	1	2	3	4
Литература	[6]	[11]	[11]	[15]
Захранващо напрежение	400V	115V	47,9V	220V
Ток на постоянноотокова бобина	60A	-	-	50A
Пад на напрежение в режим на изчакване	4,5%	-	-	1,5%
Ограничаване в рамките на първи полупериод	Да	Да	Да	Да
Максимален ток на к.с. I_{max}	110A	54,9 A	10,6 A	1600A
Ток на к.с. I_{kc}	90	21,216 A	4,088 A	1600A
Ударен ток на ограничаване I_{max}	68,75A	7,55 A	0,774 A	800A
Траен ток на ограничаване I	60A	3,1A	0,25A	180A
Коефициент на ограничаване на ударния ток K_m	1,6	7,27	13,7	2
Коефициент на ограничаване на трайния ток K	1,5	6,84	16,35	8,8

Устройствата, чиито параметри са сравнени в табл.1.заработват в рамките на първия полупериод, което гарантира, че ще се осъществи ефективно ограничаване на тока на к.с. Най-високи коефициенти на ограничаване на ударния и на трайния ток има ОТкс, разгледан в [6,11,15]. Прави впечатление, че за някои от известните ОТкс липсват изчерпателни данни [6,11,15].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада се разглеждат ограничителите на ток на късо съединение. Представени са класификации на ОТкс и накратко са сравнени някои видове ОТкс.

Въз основа на направените проучвания са дефинирани основните параметри и характеристики на ОТкс. Сравнени са някои параметри на известни ОТкс от индуктивен тип.

Дефинираните параметрите и характеристики на ОТкс позволяват по-коректно да се класифицират и сравняват различните видове ОТкс.

Проучванията по този доклад се провеждат благодарение на подкрепата на НИС при ТУ-София (дог.№122ПД0043-01).

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Fault current limiters, Report on the CIGRE WG A3.10, by CIGRE WG 13.10.
- [2] M.Tarafdar Hagn, MJafari, S.B.Naderi, New series resonance type fault current limiter, International Conf. on Power Systems Transients (IPST2011), june, Delft, Netherlands, 2011.
- [3] M.Noel, C.Schacherer, Status and outlook on superconducting fault current limiter development in Europe, Proc. of ISETS07, pp.529-535.
- [4] D.Ioka, H.Shimizu, Y.Yokomizu, M.Goto, T.Matsumura, Effect of fault current limiter installed in customer system on suppression of fault current and voltage sag, IEEE2003, Power Tech Conference, Bologna, Italy.
- [5] Fault current limiters – application, principles and experience, CIGRE WG A3.16, Tokyo, 2005.
- [6] V.Rozenshtein, A.Freidman, Y.Wolfus, F.Kopansky, E.Perel, Y.Yeshurum, Z.Bar-Haim, Z.Ron, E.Harel, N.Pundak, Saturated core – a new approach, IEEE Trans on ASC, vol.17, no2, june, 2007
- [7] J.S.Kim, S.H.Kim, J.C.Kim, Analysis on fault current limiting and bus-voltage sag suppressing operations of SFCLs using magnetic coupling of two coils according their application locations in a power distribution system, Physica C - Superconducting and application, 02 nov.2010.
- [8] Fr.Moriconi, Fr.DeLaRosa, Fr.Darmann, A.Nelson, L.Masur, Development and deployment of saturated-core fault current limiters in distribution and transmission substations, IEEE Trans.on Applied Superconductivity, 2010.
- [9] N.Watson, J.Arrillaga, Power System Electromagnetic Transient Simulation, IET Power and Energy series 39, 2007
- [10] J.Schlabbach, Short –circuit currents, IET Power and Energy series 51, 2008
- [11] E.S.Ibrahim, Electromagnetic fault current limiter, Electric Power System Research no.42, 1997, pp.189-194
- [12] К.М. Малчев, Токове на късо съединение в електрическите системи, София,
- [13] А. К.Александров Специален курс по електрически апарати,

- [14] Yucheng Zhang, Member, IEEE, Roger A. Dougal, Senior Member, IEEE Determining Critical Activation Time of Inductive Fault Current Limiters in Electric Power Systems
- [15] Yanxia Pan, Jianguo Jiang Experimental Study on the Magnetic-controlled Switcher Type Fault Current Limiter
- [16] Yanxia Pan, Jianguo Jiang. Experimental Study on the Magnetic-controlled
- [17] Georgi Ganev, Krastjo Hinov, Nikolay Karadzhov, Fault current limiters – principles and application, Siela 2012 под печат