



СЪВРЕМЕННИ ПРЕКЪСВАЧИ ЗА СРЕДНО И ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ-ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

Мартин Стойчев, Мартин Банчов
Loboe@abv.bg и martin_banchov@abv.bg

*Висше транспортно училище "Тодор Каблешков",
град София 1574, ул. Гео Милев 158,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** прекъсвачи, средно напрежение, високо напрежение*

***Резюме:** В практиката съществува голямо разнообразие от технологии за надеждно гасене на електрически дъги. В разработката ще се представят прекъсвачите класифицирани по различни признаци. Ще се направи характеристика на различните видове съвременни прекъсвачи за средно и високо напрежение, като се оценят предимствата и недостатъците.*

1. Увод

Прекъсвачите средно (СрН) и високо напрежение (ВН) са важен елемент от индустриалните електрически системи, преносните и разпределителните електрически мрежи. Те служат за многократно пофазно комутиране на електрическите вериги [1,2]. Комутицията може да се осъществява ръчно или автоматично (чрез релейна защита), при всички експлоатационни режими, най-тежкият от които е изключване и включване на ток на късо съединение [2]. От коректния избор, монтаж и поддръжка на прекъсвача зависи в значителна степен сигурността в работата на съответната електрическа мрежа.

Прекъсвачите се класифицират по различни признаци: по вида на дъгогасителната камера; по вида на дъгогасителната среда; по начина на гасене на дъгата; по номиналните параметри; по вида на монтажа; по бързодействие и др. Видът на дъгогасителната среда е много важен параметър и регламентира и вида на вътрешната изолация на прекъсвача.

В практиката съществува голямо разнообразие от технологии за надеждно гасене на електрически дъги. До неотдавна в разпределителните уредби СрН напрежение се използваша маслени прекъсвачи. Но недостатъците на маслото като средство за охлаждане и гасене на електрическа дъга – лесна запалимост и високи експлоатационни разходи, налагат търсене на други алтернативи. Такива например са маломаслените и въздушните прекъсвачи, но и те имат редица недостатъци.

Новите изследвания в тази посока водят до едновременното разработване на два вида прекъсвачи – елегазови и вакуумни [3, 4]. Тези прекъсвачи успешно заменят старите типове и вече се налагат като основен елемент от подстанциите средно и високо напрежение. В настоящия доклад са разгледани предимствата и недостатъците на тези два типа прекъсвачи. Представени са двете технологии и е показано кои техни предимства ги правят предпочитани в различни ситуации.

2. Характерни технологични особености на вакуумни и елегазови прекъсвачи

Контактната система на вакуумните прекъсвачи е поставена в камера с висок вакуум (фиг.1). Когато контактите се разделят, започва горене на дъга в средата на металните изпарения и газове от разтопения метал на контактните тела, до момента на първото преминаване на тока през нулевата му стойност. След това дъгата угасва и проводимите метални пари кондензират върху металните повърхности в рамките на няколко микро секунди, което води до бързо възстановяване на диелектричната якост на вакуума.



Фиг.1

Свойствата на вакуумните прекъсвачи в голяма степен зависят от материала и формата на контактите им. За периода на тяхното развитие са използвани различни видове материали. Особено успешно решение е сплав от безкислородна мед и хром, при която токът на срязване намалява до 2-5А. При това възможността за поява на недопустими пренапрежения, произтичащи от срязване на тока, е сведена до пренебрежимо малко ниво. Тази сплав е най-добрият материал за прекъсвачи ВН, тъй като този материал съчетава добра дъгогасителна характеристика с намалена тенденция за заваряване на контактите и нисък ток на срязване при превключване на индуктивен товар.

Съществена особеност на дъгата във вакуум е, че при ток под 10kA, тя гори разпръснато. При големи стойности на тока, дъгата променя формата си към стеснена с една анодна точка. Една стеснена дъга, която остава на едно място за прекалено дълго време, може да претовари термично контактите до такава степен, че дейонизацията на контактната зона при преминаване на тока през нулевата му стойност да не може да бъде гарантирана. За да се преодолее този проблем са създадени контактни системи с радиално магнитно поле. Техните контакти са така оформени, че токът през тях да създава магнитно поле, което е перпендикулярно спрямо оста на дъгата. Това радиално поле кара основата на дъгата да се върти бързо по повърхността на контакта, което води до равномерно разпределение на топлината. Контактните системи от този вид се използват предимно в прекъсвачи за СН.

Съществува и по-нов дизайн на вакуумния прекъсвач, при който се преобразува формата на дъгата от дифузно към стеснено състояние и се разделя на няколко клона, чрез подлагане на дъгата на аксиално магнитно поле. Такова поле може да се получи чрез насочване на тока на дъгата, от намотка разположена по подходящ начин извън вакуумната камера. Този принцип се използва при токове на късо съединение над 31,5kA.

Елегазовите прекъсвачи (фиг.2) работят в среда от елегаз (електрически газ) - наименование, с което в енергетиката се обозначава серният хексафлуорид SF₆ (sulfuric hexafluoride). Това е инертен газ с плътност 5 пъти по-голяма от тази на въздуха и електрическа якост е 2 - 3 пъти по-висока от якостта на въздуха.

В елегаз с нормално атмосферно налягане може да бъде угасена дъга с ток, който 100 пъти превишава тока, изключван във въздух при същите условия. Способността на елгаса да гаси дъгата се обяснява с това, че неговите молекули улавят електроните на дъговия стълб и образуват относително неподвижни отрицателни йони. Загубата на електрони прави дъгата неустойчива и тя лесно гасне.



Фиг.2

В течение на повече от 60 години, газът SF₆ доказва своите преимущества в качеството на изолационна и прекъсваща среда в уредбите за СрН и ВН. Използването на елегазови прекъсвачи вместо въздушни такива икономисва значително монтажното пространство.

В елегазовите прекъсвачи, след разделяне на контактите, продължава да протича ток през дъгата, чиято плазма се състои от йонизиран газ SF₆. Докато гори, дъгата е подложена на постоянен поток от газ, който отнема топлината от нея. Дъгата угасва при първото преминаване на променливия ток през нулевата му стойност. Накрая, продължаващият приток на газ дейонизира междуконтактната междина и възстановява диелектрическата якост.

Независимо, че елегазът е с много по-добри дъгогасителни свойства от въздуха, гасенето на дъгата при обикновено разтваряне на контактните елементи (пасивно гасене) се използва рядко. В дъгогасителните системи на прекъсвачите с елегаз винаги се прилагат средства за интензивно въздействие върху дъгата, като:

- продухване на дъгата с елегаз от резервоар с високо налягане;
- автоматичен принцип на продухване;
- продухване в резултат на повишеното налягане на елгаса от топлинното въздействие на дъгата (автодъгов принцип на продухване);
- охлаждане на бързодвижеща се дъга под въздействието на външно магнитно поле в неподвижен елегаз;
- комбинирани принципи на интензивно охлаждане на дъгата.

3. Сравнителен анализ на качествата на вакуумни и елегазови прекъсвачи

Предимствата на вакуумните прекъсвачи могат да се обобщят по следния начин: пълна взриво и пожаробезопасност, възможност за осъществяване на всякакви режими на изключване, висок комутационен ресурс - електрическата якост на вакуума се възстановява с голяма скорост (до $12\mu\text{s}$), малки габарити и тегло, сравнително проста конструкция и лека експлоатация, дълъг експлоатационен срок (над 20 години), висока механична и електродинамична износоустойчивост при комутация на номиналния ток (десетки хиляди пъти) и тока на късо съединение (стотици пъти), пълна екологичност, автономност, възможност за работа в произволно положение в пространството, възможност за работа в агресивни среди, голямо бързодействие.

Недостатъци са високата себестойност, пълно нарушение на функциите на прекъсвача вследствие на авария във вакуумната дъгогасителна камера, силна зависимост на надеждната им работа от качествата на контактната връзка, ограничена

приложимост при високи напрежения, поява на пренапрежения при комутация на малки токове.

Като предимства на елегазовите прекъсвачи може да се изтъкне: взриво и пожаробезопасност, висока изключваща способност, висок комутационен ресурс, по-малки габарити при едни и същи параметри, голям експлоатационен срок (над 30 години), сигурност на действията в широк температурен диапазон – работят нормално в граници от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$, безшумна работа. Трябва да се има предвид, че елегазовите прекъсвачи, които са достигнали максимално допустимия брой операции, могат да бъдат ремонтирани и възстановени до състоянието, в което са били като нови.

Недостатъците на елегазовите прекъсвачи могат да се обобщят като относително високата температура на втечняване на елегаза (-40°C), зависеща от налягането и плътността; необходимост от газово стопанство и специални технологии, свързани с осигуряването на газоплътност и зареждане с елегаз, необходимост от специализирани ремонтни звена, вследствие наличието на редица съединения на сярата и флуора, образуващи се при горене на електрическата дъга, сравнително висока цена на елегаза.

Основният компонент, увеличаващ цената на прекъсвачите, е работният механизъм. Той изисква обслужване главно в зависимост от количеството енергия, която трябва да се осигури. За вакуумните прекъсвачи сервизният интервал е между 10000 и 20000 операции. За елегазовите прекъсвачи той варира между 5000 и 20000 операции. В действителност изискванията за поддръжка на прекъсвачите зависят от броя на операциите за определен период от време и стойността на тока при изключване. Въз основа на броя на операциите е очевидно, че елегазовите и вакуумните прекъсвачи, използвани за захранване на консуматори от обществения сектор и/или промишлени разпределителни системи, при нормални условия, никога не достигат до границите на номиналния им ток на изключване и максималния брой допустими операции. Ето защо, необходимостта от ремонт или подмяна на такъв прекъсвач е рядко изключение и в този смисъл те могат да се разглеждат като прекъсвачи, които нямат нужда от поддръжка.

Един от аспектите от най-голямо значение при избора на прекъсвач е надеждността. Надеждността на дадено съоръжение се определя с параметъра от средно време до повреда, за неремонтируеми съоръжения и средно време между повредите - за ремонтируеми. Сега елегазовите и вакуумните прекъсвачи използват едни и същи оперативни механизми, така че в това отношение те могат да се считат за идентични. И двете технологии имат много висока степен на надеждност при нормални и извънредни условия. Въпреки това, по отношение на конструкцията, двата вида прекъсвачи имат значителна разлика, като може да се каже, че броят на движещите се части при елегазовите прекъсвачи е по-висок, отколкото при вакуумните.

В съответствие с национални и международни стандарти (напр. IEC56) и двата вида прекъсвачи надеждно прекъсват всички токове на повреда (къси, земни съединения и т.н.) до максималната им допустима стойност, гарантирана от производителя. Освен това и двата вида прекъсвачи са способни да изключват токове с големи постояннотокови съставки, каквито могат да възникнат при къси съединения в близост до генератор. Що се отнася до възстановяващото се напрежение, което се появява на клемите на прекъсвача след прекъсване на тока на повреда, при вакуумните прекъсвачи то е с стойности до 5kV. При елегазовите прекъсвачи е с по-малки стойности, в интервала от 1 до 2kV.

Когато се налага изключване на малки индуктивни токове (напр. при разтоварване на трансформатори, двигатели по време на пуск или работещи на празен ход и др.), много често се наблюдава явлението “срязване на тока”. Това е явление, което се състои в прекъсване на тока преди да достигне нулевата си стойност. Когато

това се случи, енергията съхранена в индуктивността на товара, се колебае през капацитетите на системната линия към земя, което води до увеличаване на напрежението. Амплитудата на полученото пренапрежение е функция от стойността на срязания ток. Токът на срязване на елегазовите прекъсвачи е в граници от 0.5А до 15А и се определя от вида им. Прекъсвачите с автодъгова дъгогасителна система например имат ток на срязване по-малък от 3А. Това се дължи на специфичните характеристики на изключвателния им механизъм и свойствата на самия елегаз.

Елегазовите прекъсвачи с автодъгова дъгогасителна система притежават значителни предимства при работа с високочестотни преходни процеси, които се получават вследствие на повторно възникване на дъга при отваряне на контактите, в сравнение с двата по-стари типа елегазови прекъсвачи (с продухване на дъгата и автокомпресорни) и вакуумните прекъсвачи. Различни тестове показват, че вакуумните прекъсвачи могат да предизвикат по-интензивно многократно възникване на дъга и по този начин по-високи пренапрежения в сравнение с другите видове.

4. Заключение

В края на миналия век настъпва качествен скок в развитието на технологиите на комутационните апарати за средно и високо напрежение – маслените и въздушните прекъсвачи постепенно се заменят с вакуумни и елегазови. Основната причина за това са отличните дъгогасителни свойства на вакуума и на елегаза. Не без значение са и уникалните физико-химични свойства на елегаза, благодарение на които, при правилна експлоатация, той практически не старее. Навлизането на вакуумните и елегазовите прекъсвачи подобрява технико-икономическите показатели на оборудването като цяло. Предвид разгледаните предимства и недостатъци на тези прекъсвачи, може да се направи изводът, че вакуумните са ефективни в условия с чести комутации, докато елегазовите са подходящи при изключване на товари и във веригите на електродвигатели с ограничена мощност. И макар понякога да се поставя въпросът за екологична опасност, трябва да се има предвид, че елегазът не е включен в групата на веществата, забранени или ограничени за употреба.

ЛИТЕРАТУРА

- [1.] Пенчев П., Електрически апарати, Техника, София, 1976г
- [2.] Александров Ал., Електрически апарати и машини, Техника, София, 2006г
- [3.] Съвременни прекъсвачи средно напрежение. Сп. Енергия, 2011г.,бр.7
- [4.] Елегазови прекъсвачи. Сп. Инженеринг ревю, 2011, бр.1.

Допълнителни фигури



Елегазови прекъсвачи



Вакумен прекъсвач



Елегазов прекъсвач

MODERN BREAKERS FOR AVERAGE AND HIGH VOLTAGE - ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Martin Stojchev, Martin Banchov
Sity Sofiq j.k Liulin 7 bl 716 vhB et2 ap40

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Stret, Sofia1574,
BULGARIA*

Key words: *Breakers, Average Voltage, High Voltage*

Abstract: *In practice there is a huge variety of technologies for reliable quenching of electric arcs. The development presents breakers, classified in different criteria. A characteristic of different types of contemporary breakers for average and high voltage will be done, by evaluating the advantages and disadvantages.*