

Оптимизация на релейните защиты в електрическите уредби 6 кV на Челопеч Майнинг АД

Иван Стоилов¹, Кирил Джустров¹, Менто Ментешев²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

² "СМС - С" ЕООД, 1164 София

РЕЗЮМЕ. В Челопеч Майнинг АД 98,5% от използваните защиты в електрическите уредби 6 кV са микропроцесорни и тяхното оптимално използване повишава надеждността на електроснабдяването.

Оптимизацията на релейните защиты в електрическите уредби включва: целесъобразни промени в позиционирането на различните по предназначение микропроцесорни защиты от серии SEPAM 1000, SEPAM 2000 и VIP 201; осъществяване на ефективна вертикална и хоризонтална селективност; максимално използване на техните възможности;

Параметрите, характеризиращи настройките на защитите са определени на базата на данни, получени чрез моделиране на електрическата уредба и на експериментални изследвания за основните величини, характеризиращи пусковите процеси на двигатели, трансформатори и фидери.

Обхванат е широк спектър от защиты.

OPTIMIZATION OF RELAY PROTECTION AT THE 6 KV ELECTRICAL INSTALLATIONS AT THE CHELOPECH MINING AD

ABSTRACT. At the Chelopech Mining AD 98,5% of the protections applied to 6kV electrical installations are micro-processing protections and their optimum use improves reliability of power supply.

The optimization of relay protections of electric installations requires changes in the positioning of micro-processing protections of the series SEPAM 1000, SEPAM 2000 and VIP 201 of different designation; performing of effective vertical and horizontal selectivity, maximum utilization of their functions.

Parameters, characterizing the settings of protections are determined on the basis of data, obtained by modeling of the electrical installation and experimental investigations for the major values, characterizing the starting (switching) processes of motors, transformers and feeders.

A wide range of protections is discussed.

Определянето и изпълнението на оптимални настройки на релейните защиты в електрически уредби на Челопеч Майнинг АД трябваше да реши проблема с неселективните изключвания на защитите, в резултат на които при възникнал ненормален режим, например късо съединение, се изключват изправни изводи, много често и цялото захранване от трансформаторите 110/6 кV.

За определяне на оптималните настройки на защитите се приложи съвременен комплексен подход:

- Моделиране на електрическата уредба 6 кV за точно определяне параметрите на токовете на късо съединение – еднофазни, двуфазни и трифазни;

- Експериментално определяне на параметрите на пусковите процеси /ток, напрежение, продължителност/ на двигатели 6 кV, трансформатори 6/0,4 кV и фидери.

Математическото моделиране и анализът на установените и преходните процеси в електрически уредби 6 кV, наложи актуализация на съществуващите еднолинейни схеми и параметрите на комутационните апарати и защиты.

От общо 10 двигателя с напрежение 6кV, 4 броя са синхронни, а от 6 асинхронни двигателя – един е с навит ротор.

Понижаващите трансформатори СрН/НН са 41, вторичното напрежение е 0,4 кV с изключение на 2 трансформатора, които са с вторично напрежение 1,0 кV и един с 660 V.

Челопеч Майнинг е от малкото предприятия в страната с висок процент на съвременни защиты в разпределител-

ните мрежи и за двигателите 6 кV. Успешно са приложени микропроцесорни защиты на Merlin Gerin – Sepam 2000 – 32 бр. и SEPAM 1000-7 бр. - в подстанциите с оперативно напрежение и VIP - 9 бр. - в подстанциите без оперативно напрежение.

Защитите с електромеханични релета имат ограничено приложение. Те са монтирани в КПУ с маломаслени прекъсвачи.

Многофункционалните микропроцесорни защиты обхващат 96,8 % от обектите за защита, докато електромеханичните – само 3,2 %. Следователно съществуват обективни условия за осъществяване на оптимални по чувствителност и бързодействие защиты с широк спектър от функции.

Изчислителни режими

Изчисленията на токовете на късо съединение са извършени за два режима – максимален и минимален.

Получените резултати за ток на късо съединение при максимален режим са използвани основно за отстройка на релейните защиты от свръхпреходния ток на трифазно к.с. и за проверка на кабелите по термична устойчивост.

Изчисленията при минимален режим са използвани за проверка на коефициента на чувствителност от установената стойност на тока на двуфазно к.с.

Максимален режим

Разглеждания режим се характеризира със следното:

- Захранването на шини 6 кV се осъществява от един трансформатор 110/6 кV, присъединен на страна 110

kV към източника, за който мощността на к.с. е по-голяма – въвод “Чавдарци”;

- На страна 6 kV към трансформатора са включени двете секции на ЦРП, от които се захранват секциите на останалите подстанции;
- Включени са всички двигатели, присъединени на страна 6 kV към секциите на разглежданите подстанции;
- Включени са двигатели на страна 0,4 kV към някои от трансформаторите 6/0,4 kV, където двигателният товар е съществен.

Минимален режим

За изчисляване на токовете на к.с. в минимален режим се взема предвид следното:

- Захранването на шини 6 kV се осъществява от един трансформатор 110/6 kV, присъединен на страна 110 kV към източника, за който мощността на к.с. е по-малка – въвод “Гълъбец”;
- Двигателите не се изключват. Използвани са резултатите от изчисленията при установен режим, където тяхното участие при определяне на токовете на к.с. не се отчита.

Изчислителни модели за определяне на токовете на късо съединение.

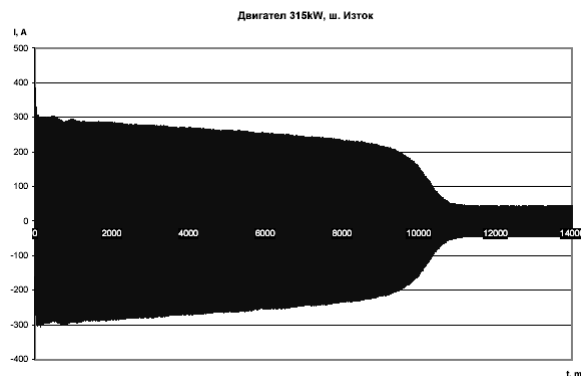
- Моделите са конфигурирани на базата на изчислителната програма Procal, разработена в EdF, в съответствие с изискванията на IEC 909.
 - Характерните особености при моделирането са следните:
 - Моделирани са минималния брой елементи (трансформатори, двигатели), участващи в посочените погоре режими;
 - Къси участъци от кабели, присъединени към дълги въздушни електропроводи, са въведени към въздушния електропровод към който са свързани, като са използвани реалните им параметри;
 - Всички кабелни електропроводи са моделирани с параметри, съобразно техния тип (сечение, изолация, материал), начин на полагане и дължина;
- Резултатите от изчисленията са показани в табличен вид, поотделно за всеки от разглежданите режими. Те включват резултати за токовете на трифазни к.с. и тяхното разпределение за всички възли от схемата.

Експериментални изследвания

В съответствие с възприетата методика за определяне на параметрите на пусковите процеси на електрическите машини – двигатели и трансформатори в уредбите 6 kV, като необходимо условие за точно определяне на настройките на защитите са проведени измервания. Използван е микропроцесорен апарат MULTIVER, измерващ моментни стойности през 0,5 ms, позволяващ да се получат данни характеризиращи апериодичните и периодичните съставни на тока при пускане /включване/ във функция от времето.

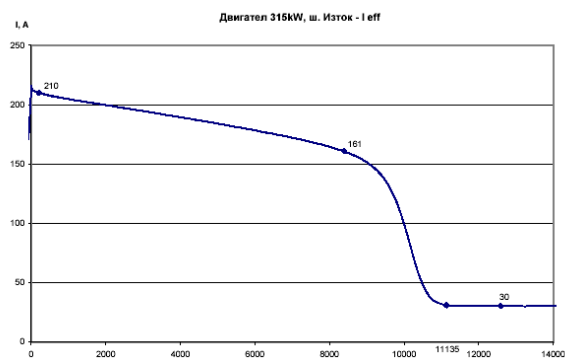
Преходни процеси при пускане на двигателите с напрежение 6 kV

Проведени са измервания на статорните токове на двигателите 6 kV с продължителност от 4 до 26 s, време достатъчно да приключи преходния процес и да се установи тока през двигателя.



Фиг. 1.

Приложени са записите с моментните (фиг.1) и с ефективните стойности на токовете (фиг. 2), измерени при включване на 9 различни двигатели и задвижвания.



Фиг. 2.

Времената, за които протичат пусковите процеси се лимитират и от характеристиката на задвижваната машина: най-продължителни са пусковите процеси при вентилаторите ш. Север – 5,21 s, ш. Изток 11,2 s. Най-кратки са времената за пускане на помпите от 1,0 до 1,6 s.

Резултатите се използват при изчисляване на токовете защити.

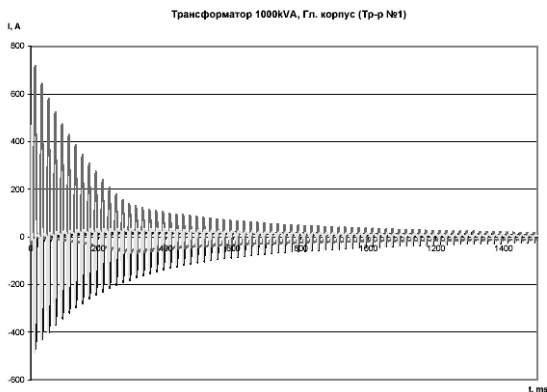
Преходни процеси при включване на трансформаторите 6/0,4 kV

Изборът на трансформаторите, за които е изследван тока на включване е направен по два критерия:

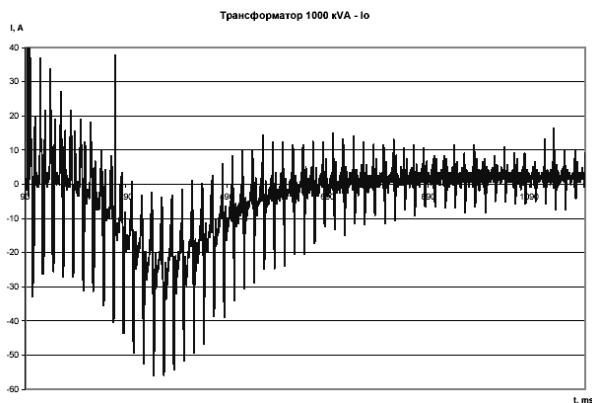
- Трансформаторът/ите да се защитават от SEPAM;
- Да бъдат представителни по мощност;

Резултат от измерванията е илюстриран на фиг. 3, в която са показани моментните стойности на токовете при включване.

Както се вижда от приложената осцилограма (фиг. 4), поради несиметрията в токовете на трите фази в преходния процес на включване се генерира, в някои случаи значителен ток с нулева последователност $I_{0\text{в}}$. Той е най-голям в Тр. 1000 kVA и в Тр. 400 kVA и е относително най-малък при включване на групата трансформатори към извод за подземния рудник. С този ток, съществуващ от 0,6 до 2 s е съобразена настройката на защитата от земни съединения.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Продължителността на преходния процес T_b при включване на трансформаторите се променя в границите от 1,4 s до 2,0 s, а на тока с нулева последователност $I_{0в}$ - от 0,6 до 2 s.

Защити

Определянето на настройките на релейните защити е извършено въз основа на:

- паспортните данни на съоръженията;
- изчислените с помощта на математическия модел на мрежата токове на к. с. при максимален и минимален режими;
- резултати от експериментално регистриране на пускови процеси на двигатели и включване на празен ход на трансформатори;

При определяне на настройките са използван характерните за цифрови релейни защити стойности на коефициентите на сигурност (K_c), на възвръщане (K_a), както и регламентирани от българските правилници коефициенти на чувствителност (K_u) и др.

Токови защити

1. Защита на двигатели

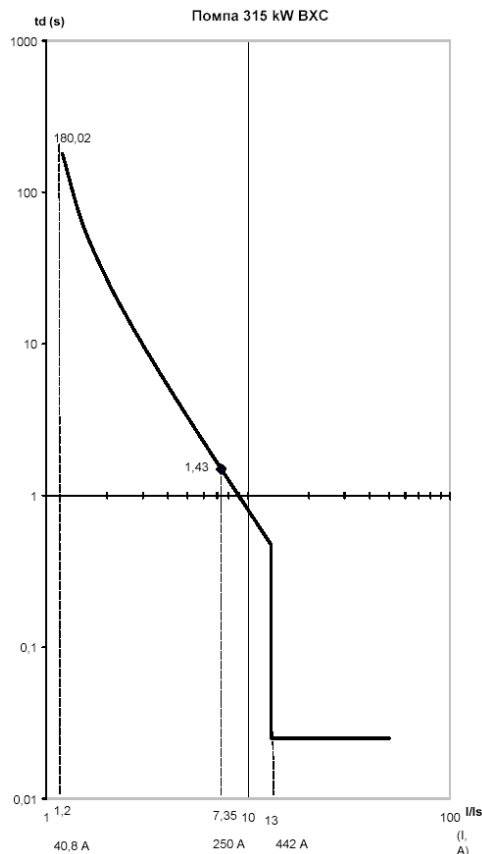
Определени са настройките на следните защити:

- токова отсечка (ТО) – отстройва се от пусковия ток на двигателя с коефициент $K_c = 1,5$. За пусков ток на двигателя се приема по-голямата стойност при сравняване на каталожните данни с тези от експерименталните изследвания. Въведено е минимално време на зара-

ботване $t_{зр} = (0,025 \div 0,050)s$. Чувствителността е проверена с тока на двуфазно късо съединение в минимален режим.

- Максимално-токова защита с независимо от тока закъснение (МТЗ). Настройва се по номиналния ток на двигателя. Коефициентът на сигурност е приет $K_c = 1,2$, а коефициентът на възвръщане $K_a = 0,888$. Времето на заработване е определено от експерименталните данни с коефициент на сигурност $K_c = 1,3$.
- Максимално-токова защита с зависимо от тока закъснение (IT).

При двигатели с продължителен пусков процес МТЗ с инверсна характеристика може да осигури известни предимства.



Фиг. 5.

Използването ѝ е наложително, когато техническите параметри на защитата (напр. VIP201) не позволяват да се настрои време на заработване по-голямо от продължителността на пусковия процес. В този случай защитата се настройва при условието – избираният вид инверсна характеристика да премине през точка с координати $I=I_{пуск}$ и $t=1,3 \cdot t_{пуск}$. При повреда, съпроводена с ток на късо съединение в границите на заработване на токовата отсечка, защитата заработва с време по-малко от това при МТЗ с независимо закъснение. При подходящо подбрана инверсна характеристика успешно се реализира защита от претоварване на двигателите (фиг. 5).

- *Защити от претоварване*

Сериозен проблем за ефективната работа на тези защити е липсата на достоверни данни за топлинните време-константи на нагряване и на охлаждане. Въведените време-константи са определени приблизително, на базата на

експертни оценки и практическия опит от експлоатацията на машините. Препоръчително е да се проведат изследвания за определяне на топлинните времеконстанти като необходимо условие за въвеждане на ефективна защита от прегряване – съществена предпоставка срещу “изгарянето” на двигателя, пренавиването на който изисква значителни средства.

2. Защити на трансформатори

За трансформаторите са предвидени: токова отсечка без закъснение и МТЗ с независимо от тока времезакъснение.

Токовата отсечка защитава захранващия кабел и частично трансформатора.

Максималнотоковата защита защитава изцяло трансформатора и шинната система 0,4 kV и резервира действието на автоматичните прекъсвачи към нея.

Токовата отсечка се отстройва с коефициентът на сигурност $k_c = 1,2$ от свръхпреходния ток на късо съединение в максимален режим на шини 0,4 kV. Времето на заработване е минимално – 0,05s. Чувствителността на ТО се определя спрямо тока на двуфазно късо съединение в минимален режим на шини 6kV на трансформатора. Токовата отсечка се проверява при следните условия:

- включване на трансформатора на празен ход
- пускане на най-мощния двигател от страна на ниско напрежение при работещи всички останали двигатели
- Максималнотокова защита се настройва се по номиналния ток на трансформатора с коефициентът на сигурност $k_c = 1,2$. Чувствителността се определя спрямо трайния ток на късо съединение на шини 0,4 kV.

3. Защита на фидери

За защита на фидерите и захранваните от тях шини могат да бъдат използвани токови отсечки с минимално време на заработване – 0,05s, токова отсечка със закъснение и максималнотокова защита.

- Токова отсечка с време 0,05 s може да се реализира само за част от фидерите. За повечето от тях разликата между свръхпреходния ток на к.с. в максимален режим в края на фидера и токът на двуфазно к.с. в минимален режим в началото му е много малка. Това не позволява да се настрои ТО без време.
- Токова отсечка с времезакъснение

Тази защита обхваща целия фидер и захранваните от него шини. Съгласува се по ток и време с токовите отсечки на съоръженията и фидерите присъединени към тях. Чувствителността се проверява спрямо двуфазния ток на к.с. на захранваните шини.

- Максималнотокова защита

Тя е основна защита за фидера и резервна за присъединенията към захранваните шини. Съгласува се по ток и време на заработване с МТЗ на присъединенията. Известна особеност има при съгласуването ѝ с инверсни характеристики на двигатели към шините. Тока и времето на заработване на защитата на фидера трябва да са над инверсната характеристика. Отстройката по време на МТЗ Δt е възприета 0,5 s.

Защити срещу еднофазни земни съединения

Капацитивният ток на з. с. (I_c) е изчислен въз основа на специфичният капацитет и дължината на кабелите и въздушни електропроводи.

За изсяняване на условията за сигурна работа и определяне на минималния коефициент на чувствителност се разглежда минимален режим на работа по отношение на капацитивния земен ток при който са изключени резервните фидери.

Настройката на земните защиты е съобразена с токовете с нулева последователност, възникващи при преходни процеси /включване на трансформатор на ПХ; пускане на двигател/.

Там където е възможно е въведено второ /по-чувствително/ стъпало на земната защита. Настройката на това стъпало е съобразена със следните условия:

- $I_{зп}$ – отстроен от собствения капацитивен ток и присъединението с кофициент на сигурност

$$K_c = (1,5 \div 4); 58$$

- $t_{зп}$ – по-голямо от времето на преходните процеси, които генерират ток с нулева последователност

$$\text{за трансформатори: } t_{зп} \geq 1,5s$$

$$\text{за двигатели: } t_{зп} \geq t_{пуск}$$

Напреженови защиты

В електрически уредби 6 kV е въведена само минимално напреженова защита за двигателите предпазвани със SEPAM 2035 M15. Предвидени са две нива на заработване:

- При силно понижаване на напрежението при к. с. в мрежата 6 kV и к. с. в мрежата 110 kV съпроводени с АПВ.

$$U_{зп} = 0,6 U_n \quad t_{зп} = 3,0 s$$

- При сравнително слабо понижаване на напрежението

$$U_{зп} = 0,75 U_n \quad t_{зп} = 10,0 s$$

Други защиты

- Защита от токове с обратна последователност
- Въвежда се за двигатели със защита М 15. Реализира се с независима от времето характеристика. За всички двигатели е възприето токът с обратна последователност, при който защитата задейства I_s да бъде 30 % от номиналния ток на съответната машина I_b .

Времезакъснението при задействане е прието 10 s – отстройва се от най-голямото време на задействане на земните защиты $I_s = 30\% I_b$; $T = 10 s$.

- Защита от продължително пускане и блокиран ротор

Въвежда се за всички двигатели със защита М 15. Токът на настройката I_s е определен по следната методика:

I_s трябва да е по-голям от максималния товарен ток на двигателя и по-малък от минималния пусков ток на двигателя.

$$I_{b \max} < I_s < I_{start \min}$$

За $I_{b \max}$ се приема $1,05 I_b$

$I_{start \min}$ се приема $0,8 I_{start}$ (допуска се, че напрежението при пускане може да се достигне стойност $0,8 U_n$).

Токът на настройката в процент от I_b се определя по:

$$I_s\% = \frac{I_{st\ min} + I_{b\ max}}{2 \times I_b} \times 100$$

Определяне на времезакъснението при пускане – ST

$$ST = \left(\frac{I_{start}}{I_{start\ min}} \right)^2 \times T_{start\ max}$$

$$T_{st\ max} = t_n \times K_c = t_n \times 1.3$$

t_n – регистрирана продължителност на пусковия процес от експерименталните изследвания;

K_c – коефициент на сигурност – приет $K_c=1,3$

Продължителността на закъснението при блокиран ротор се определя приблизително по следния начин:

$$LT=0,75 ST$$

■ *Ограничаване на броя на включенията за 1 час*

Защитата задейства при следните случаи:

- броят на включенията за 1 час надвиши въведения (N_{start});
- надвиши се броя на лимитираните последователни топли пускания N_{start} за време $60/N_{start}$;
- надвиши се броя на лимитираните последователни студени пускания C_{start} за време $60/N_{start}$;

Максималният брой включения за 1 час могат да се определят от израза:

$$N_{start} \leq \frac{I_b^2 \times 3600}{I_n^2 \times ST}$$

I_b – номинални ток на двигателя, А;

I_n – пусков ток на двигателя, А;

ST – изчислената максимална продължителност на пусковия процес, s;

Ограничителни условия:

- броят на топлите пускания е до 4 бр.;
- разликата между броя на студените и на топлите пускания е 1.

$$C_{start} - N_{start} = 1$$

- минималното време между 2 пускания е 1 min.

- броят на последователните пускания се отнасят за

последния интервал от $\frac{60}{N_{start}}$.

- Времезакъснението между отделните пускания T се определя по отношението:

$$T = \frac{60}{C_{start}} \times N_{start} \times 60, s$$

Заклучение

Определените и въведени оптимални настройки на защитите в електрическите уредби 6 kV на “Челопеч Майнинг” АД, а преди това в “Елаците мед” АД доказаха ефективността на възприетия подход.

Съчетанието на математическото моделиране с експерименталните изследвания позволи синтеза и реализацията на защита с максимална чувствителност, селективност и бързодействие.

Повече от две години в “Елаците мед” и почти 6 месеца в “Челопеч Майнинг” неселективните изключения са преустановени, няма дефектирали двигатели 6 kV. Експлоатационната надеждност значително се повиши.

Литература

Merlin Gerin – Protection and Control. Protection Guide.

Merlin Gerin – Protection Control Monitoring – Sepam 1000. Schneider electric SA, 1995.

Merlin Gerin – Protection, Diagnosis, Monitoring Sepam 2000 metering and protection functions.

Merlin Gerin – SF with VIP200 or VIP201 integrated control unit – Instruction for use - Schneider electric SH, 1995.