

ВНЕДРЯВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА МТЗ С КОМБИНИРАНА ЛОГИЧЕСКА И ПОСОЧНА СЕЛЕКТИВНОСТ В РУСН НА АУРУБИС БЪЛГАРИЯ

Стефан Чобанов

CMC-C EOOD, Пирдоп, e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com

РЕЗЮМЕ: Проектирана е система от МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност, която се внедрява в Аурубис, в рамките на едногодишна програма за ретрофит на РУСН. Системата е базирана основно на цифрови защитни устройства Sepam. В доклада са анализирани резултатите от експериментални изследвания, на които се основава проектът и реализацията на системата. Синтезирана е функционално-структурна схема на системата и време-диаграма на нейната работа.

Ключови думи: цифрова защита, логическа селективност, посочна защита

IMPLEMENTING A SYSTEM FOR OVERCURRENT PROTECTIONS WITH A COMBINED LOGIC AND DIRECTIONAL DISCRIMINATION IN MV DISTRIBUTION SYSTEMS AT AURUBIS BULGARIA

Stefan Chobanov

CMC-C Ltd, Pirdop, e-mail: stefan.chobanov@cmc-c.com

ABSTRACT: It is designed a system with overcurrent protections with a combined logic and directional discrimination, which is implemented in Aurubis, within a one-year program for the retrofit MV distribution systems. The system is mainly based on digital protection devices type Sepam. In the report are analyzed the results of experimental studies that underpin the design and implementation of the system. Functionally-structural scheme of the system and Timeline of its work is synthesized.

Keywords: digital protection, logic discrimination, directional protection

Изследването се налага поради липсата на практически опит в страната за внедряване на системи за МТЗ с логическа и посочна селективност в РУСН на промишлените предприятия.

Общи сведения за системата

Въвеждането на логическата селективност е ефективно и достатъчно средство за увеличаване на бързодействието и подобряване селективността на МТЗ в радиалните схеми с едностранно захранване. В РУСН на Аурубис такива са изводите за двигатели от ГПП2, секции 3, 4, 5 и 6 и изводите от РП за двигатели, кондензаторни батерии и самостоятелно работещи трансформатори. За тези изводи и за част от входовете на ГПП2 в проекта е предвидено приложението на Sepam 1000+ S(T)40.

Системата от МТЗ с логическа селективност не решава проблемите с бързодействието и селективността в магистралните схеми на електроснабдяване (при двустранно захранване). За тези схеми производителите на цифрови защиты (Siemens PTD EA, 2005) и (Schneider Electric, 2006) препоръчват добавянето на посочна селективност на МТЗ. Последното се допуска в чл.908 (1) от (Наредба № 3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии).

Въвежда се посочна селективност за секционните прекъсвачи в ГПП2, изводите за РП от ГПП2 (секции 1, 2, 7 и 8), входните и секционните прекъсвачи в РП и изводите за ТП. При необходимост се въвежда посочна селективност и на входове на ГПП 2. За ретрофита на тези КРУ се предвиждат Sepam 1000+ S(T)42.

Системата от цифрови МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност отговаря на изискванията за чувствителност, сигурност, селективност и надеждност, регламентирани в Наредба №3 за УЕУЕЛ, при най-неблагоприятните, но допустими условия за работа на обекта, с минимални инвестиционни и експлоатационни разходи.

Тестове на Sepam S42

Изпитването е направено с помощта на автоматизирана система за тестване на защиты с вторичен ток тип Artes 440 II. Изходните сигнали от Artes са контролирани допълнително с анализатор за качеството на мощност и енергия тип Fluke 435 Series II.

Параметри на Sepam, които не са променяни за различните опити:

- Номинален първичен ток на ТТ: $I_n = 200A$
- Характеристика на защитата: DT
- Ток на сработване на защитата: $I_s = 380A$

- Закъснение: $T = 2s$
- Ъгъл на характеристиката: $\theta = 45^\circ$

Параметри на Artes, които не са променяни за различните опити:

- Current Reference: I_n
- Direction Control: x
- $I >= 1,9I_n$
- $t = 2s$
- $Lx-E (0 \div 1,0U_n) = 1,0U_n$
- $Lx-Ly (0,5 \div 1,0U_n) = 1,0U_n$
- $L1-L2-L3 (0 \div 1,0U_n) = 1,0U_n$
- Зона на сработване:
 - II квадрант = 135°
 - IV квадрант = -45°

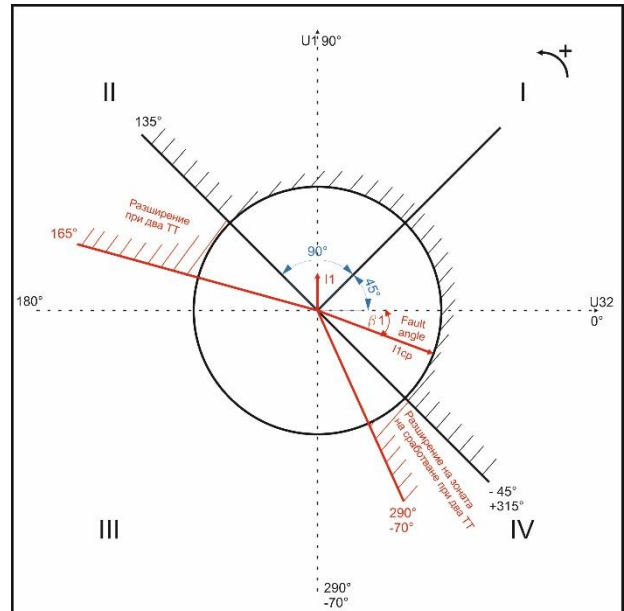
При промяна на параметъра Feeder/Incomer в Sepam, измерената фазова разлика Phase displacement ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 се променя със 180° , примерно от 315° на 135° . От друга страна, опитно е установено, че изборът на този параметър не се отразява върху работата на посочната защита. Следователно промяната на настройката Feeder/Incomer коригира със 180° фазовата разлика, но само за целите на измерителните функции на Sepam. В софтуерния модул на посочната функция постъпва фазова разлика в оригиналния си вид от измерването.

Когато параметърът "Two out of three" е активен, посочната функция на Sepam работи точно в дефинираната зона при всички видове изходни сигнали от Artes. Изпитването е направено с отклонение $\pm 5^\circ$ от границите на зоната, т.е. в Artes са зададени Fault Angle: $130^\circ, 140^\circ, 310^\circ$ и 320° . При 130° и 320° защитата сработва, а при 140° и 310° не сработва. Когато параметърът "One out of three" е активен и Artes е в режим L1-L3 зоната на сработване на Sepam се разширява над 180° . Разширената зона на сработване (при посока Line на Sepam) е в границите $\phi_{ср.р.} = -70^\circ$ (IV квадрант) $\div 165^\circ$ (II квадрант). Това разширение е показано на векторната диаграма на фиг. 1. Хипотетично разширението би могло да е причина за нежелано (лъжливо) изключване, поради което следва да се има предвид при проверката за селективност (сигурност) на посочната функция.

Опитно е установено, че за посока Line Sepam има заводски параметриран изход за изключващ сигнал „trip“, но няма такъв за изходящ блокиращ сигнал „blocking“. В посока Busbar е обратно - няма заводски параметриран изход за изключване на прекъсвача за СН („trip“ сигнал), но извежда „blocking“ сигнал. Необходимо е потребителят да параметрира липсващите изходни сигнали.

Опитно установено е, че при работа с Artes в зоната на несработване трябва да се въвеждат ъгли (Fault Angle) с положителен знак. При въвеждане на отрицателни ъгли във II и IV квадрант Artes блокира.

Artes не може да се въведе зона на сработване, в която да участва III квадрант, поради което чрез него не може да се оцени работата на защитата в този квадрант.



Фиг. 1. Разширена зона на сработване при двуфазни к.с.

Опитно е установено, че Sepam не е параметриран заводски да изпълнява структурната схема на логическата дискриминация, показана в (Schneider Electric, 2012), поради което се налага проектиране и въвеждане на необходимите логически уравнения.

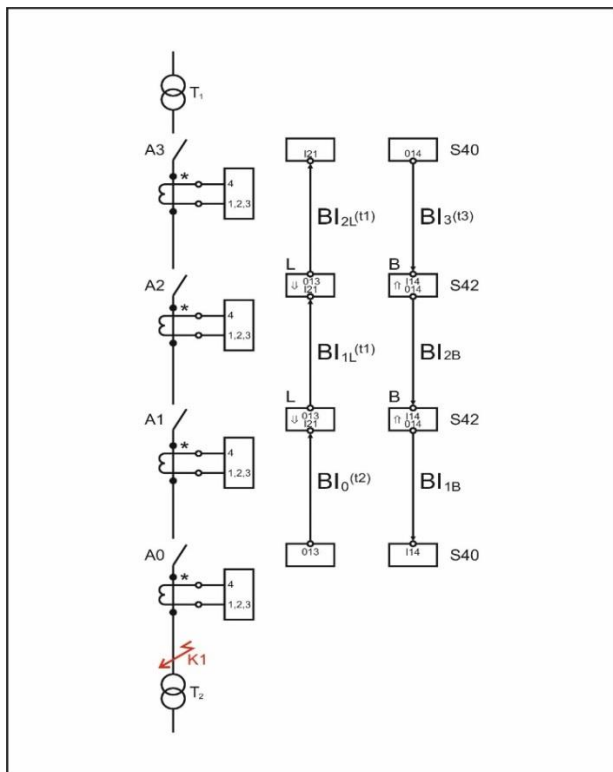
Тестове на Sepam в системата за МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност

Експериментална еднолинейна схема с участието на Sepam 1000+ серия 40 (2 бр.) и Sepam 1000+ серия 42 (2 бр.) в обща система за МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност (СЛПС) е показана на фиг. 2. Функционално-структурната схема на реализираната в лабораторни условия СЛПС е показана на фиг. 3, а времедиаграмата при късо съединение в т.К1 – на фиг. 4.

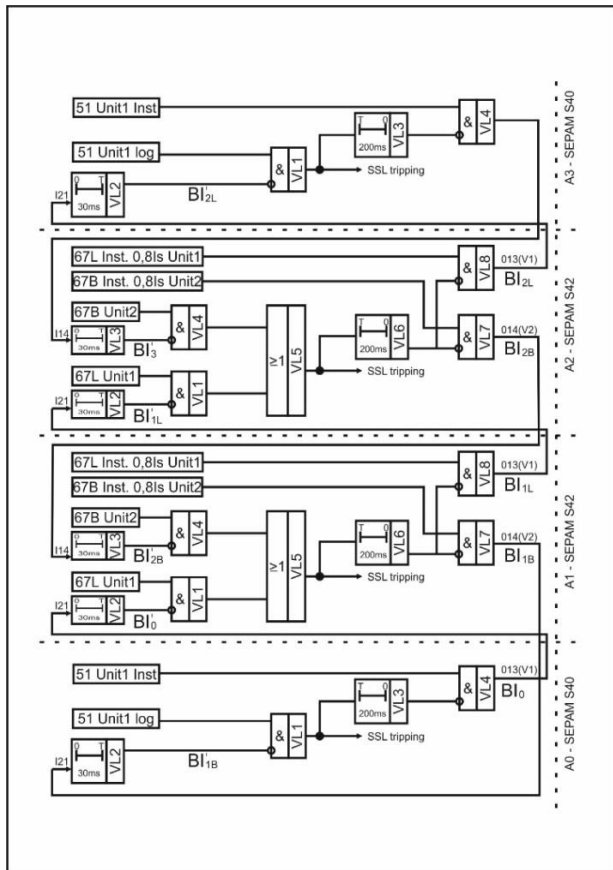
Двата Sepam S40 (A0 и A3) са свързани като крайни точки в радиална система с двустранно захранване с логическа селективност, в която участват общо 4 бр. Sepam (Фиг. 2). Двама Sepam 1000+ S42 са обозначени на фиг. 2 като A1 и A2. Поради по-големия брой на Sepam захранването им с 220Vdc се осъществява не от Artes, а от захранващо устройство (табло), производство на СМС-С.

Sepam са настроени в съответствие с релейната карта на Аурубис (в ГПП 2 и РП 206). Едновременно на четирите Sepam се подава ток и напрежение от Artes. Чрез пресвързване на токовите вериги на Sepam се симулира к.с. от страната на източника, от страната на консуматора (точка К1) и в средата на групата от Sepam. Възможна е симулация на к.с. в различните точки чрез избор на подходящ ъгъл между I1 и U23.

Проведени са успешни опити със защитите при симулиране на к.с. във всяка от описаните по-горе точки.



Фиг. 2. Однолинейна схема на лабораторна постановка за изпитване на MT3 с комбинирана логическа и посочна селективност.



Фиг. 3. Функционално-структурната схема на MT3 с комбинирана логическа и посочна селективност

Дефиниране на посоките L и B в двата елемента ANSI 67 на Seram

Във всички Seram Елемент 1 на посочната защита (ANSI 67) ще е функционално свързан с вход I21 и изход O13, а Елемент 2 – с I14 и O14. Функциите на тези входове са показани на фиг.3 и са еднакви за всички Seram в РУСН на Аурубис и не се променят за различните схеми на свързване на ТТ. При заземяване на вторичните намотки на ТТ от страната на консуматора Елемент 1 на защитата се параметрира с посока Line, а Елемент 2 – Busbar. При заземяване на вторичните намотки на ТТ от страната на източника Елемент 1 се параметрира Busbar, а Елемент 2 – Line. Проверка на правилния избор на посоките Line/ Busbar (при коректно измерване от Seram на мощностите и енергията) се прави чрез съответствията:

- При Feeder Елемент 1 е Line, а Елемент 2 – Busbar;
- При Incomer Елемент 1 е Busbar, а Елемент 2 – Line.

Изпращане на блокиращи сигнали BI

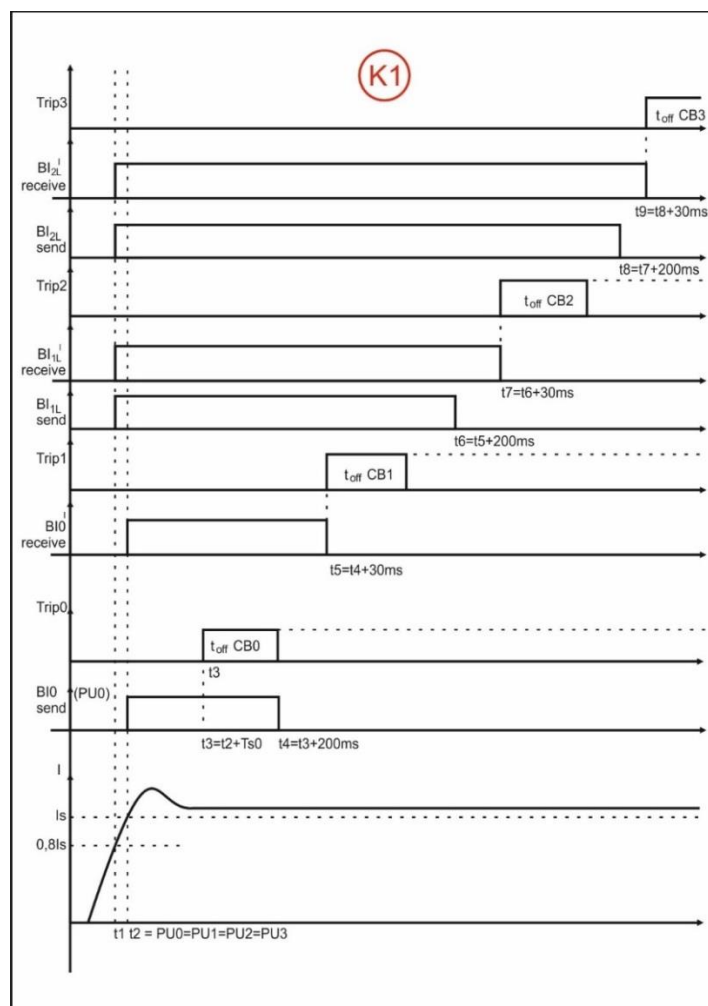
При к.с. в точка 1 (Фиг. 2) токът на к.с. достига стойност $0.8I_s$ в момента t_1 (Фиг. 4). В този момент двата Seram S42 (A1 и A2) изпращат блокиращи сигнали BI_{1L} и BI_{2L}. Елементите В на тези Seram не реагират в посока към K1, поради което блокиращи сигнали BI_{1B} и BI_{2B} не се изпращат.

Токът на к.с. достига стойност I_s в момента t_2 . В този момент всички Seram (A0, A1, A2 и A3) извеждат сигнали Pick Up (PU₀, PU₁, PU₂ и PU₃).

В Seram S40 (A0 и A3) сигналите PU (от MT3 - overcurrent inst. Unit 1) съвпадат със сигналите BI, т.е. изпращането на блокиращите сигнали BI₀ и BI₃ става в момента t_2 . Сигналите PU не са показани на време-диаграмата на фиг. 4.

Получаване на блокиращи сигнали BI

При к.с. в точка 1 (Фиг. 2) защитното устройство A0 (Seram 1000+ S40) не получава блокиращ сигнал. В момента t_2 (Фиг. 4) на вход I21 на A1 (Фиг. 3) постъпва блокиращия сигнал BI₀. Сигналят BI₀ преминава през таймера VL2 без времезакъснение и се подава като BI₀' към инвертирания вход на логическия блок „И“, в който постъпва и сигналят за изключване (Trip 1L) от посочната защита. Посочната защита е параметрирана със закъснение на сработване 100ms, поради което сигналят BI₀' изпреварва сигнала Trip 1L и блокира преминаването му през логическия блок „И“. В момента t_1 на вход I21 на A2 постъпва блокиращия сигнал BI_{1L}. Сигналят BI_{1L} се подава (без времезакъснение) като BI_{1L}' към инвертирания вход на логическия блок „И“, в който постъпва и сигналят за изключване (Trip 2L) от посочната защита. Посочната защита е параметрирана със закъснение на сработване 100ms, поради което сигналят BI_{1L}' изпреварва сигнала Trip 2L и блокира преминаването му през логическия блок „И“.



Фиг. 4. Времениаграма на МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност

В момента t_1 на вход I2L на АЗ постъпва блокиращия сигнал BI_{2L} . Сигналът BI_{2L} се подава (без времезакъснение) като BI_{2L}' към инвертирания вход на логическия блок „И“, в който постъпва и сигналът за изключване (Trip 3) от МТЗ. МТЗ е параметрирана със закъснение на сработване 100 ms, поради което сигналът BI_{2L}' изпреварва сигнала Trip 3 и блокира преминаването му през логическия блок „И“.

Интервал t_2 - t_3

Интервалът t_2 - t_3 (Фиг.4) е равен на въведеното закъснение на сработване на МТЗ на А0 (Ts_0). В момента t_3 се появява сигналът Trip 0. Тъй като А0 не получава блокиращ сигнал, сигналът Trip 0 преминава през логическия блок „И“, постъпва едновременно към веригата за изключване на прекъсвача А0 и към таймера VL3 (200 ms). В момента t_3 се появяват и сигналите Trip в другите три защитни устройства в схемата, тъй като времезакъсненията на МТЗ и посочните защиты във всички устройства са еднакви (100ms). Устройства А1, А2 и А3 няма да изпратят сигнали за изключване към съответните прекъсвачи, тъй като получават блокиращи сигнали.

Интервал t_3 - t_5

В случай, че КРУ А0 е технически изправно (Фиг.4), след приблизително 100ms прекъсвачът А0 прекъсва силовата

верига. В момента на прекъсване на веригата на к.с. сигналите BI_0 , BI_{1L} и BI_{2L} отпадат. Таймерите VL2 (30ms) гарантират, че отпадането на сигналите Trip (от защитните блокове) ще изпревари отпадането на блокиращите сигнали и няма да се получи неселективно изключване на прекъсвач. На изходните сигнали от защитните блокове не е присвоена функция Latch, поради което тези сигнали отпадат едновременно с отпадането на сигналите PU. Функция Latch е присвоена на променливите VL1 в устройства А1 и А3 и на променливите VL5 в устройства А1 и А2. Функцията Latch гарантира невъзможността прекъсвачът за СН да бъде включен след като е изключил от защита, без да е натиснат бутона Reset на Sepam.

При повреда в КРУ А0 е възможно прекъсвачът А0 да не изключи веригата на к.с. След като изтече времето на таймера 200 ms (в момента t_4) сигналът Trip 0 се появява на инвертирания вход на втория блок „И“ и блокира преминаването на сигнала BI_0 . Отпадането на сигнала BI_0' става след като изтече времето на таймера VL2 (в момента t_5), т.е. общото времезакъснение на отпадането на BI_0' след появата на Trip 0 е $t_3+t_5=230$ ms. По този начин се осигурява „далечно резервиране“ на основната защита.

Интервали t_5-t_7 , t_5-t_7 и t_7-t_9

Поведението на защитните устройства в интервалите t_5-t_7 , t_5-t_7 и t_7-t_9 е аналогично на описаното за интервала t_3-t_5 .

Вериги на логическата селективност

Захранването на веригите на логическата селективност (ЛС) се прави самостоятелно за всяка секция от шинки управление (ШУ) в КРУ на секционния прекъсвач (СП). Когато подстанцията няма СП захранването на веригите за ЛС на секцията става от нейно крайно КРУ.

Кабелите за ЛС между подстанциите се присъединяват в разклонителни кутии извън КРУ.

Допълнителна система за МТЗ с комбинирана селективност по ток и време

Предвижда се въвеждане на допълнителна система за МТЗ със селективност по ток и време (ССТВ), която да се параметрира в Sepam като Група В. ССТВ ще работи като основна до момента на изграждането на цялата система от МТЗ с логическа и посочна селективност (СЛПС). СЛПС се параметрира като Група А, която ще бъде активирана като основна след цялостно завършване на програмата за ретрофит на вторичната комутация на РУСН. След това Група В ще изпълнява функцията на допълнителна защита и ще се активира в аварийни ситуации или при планови ремонти, при които се „прекъсва“ системата за логическа селективност и са възможни неселективни изключения при к.с.

Активирането на ССТВ (Група В) е целесъобразно да става автоматично от Система за мониторинг (СМ). Към момента СМ все още не е изградена, поради което се налага във всяко КРУ, чиято защита участва в СЛПС да се монтира сигнализация за повреда „Fault“, която сработва при:

- Повреда в Sepam (Watch dog);
- Загуба на захранване 220Vdc на Sepam;
- Загуба на измерително напрежение 100Vac в Sepam;
- Загуба на захранване 220Vdc на веригите за логическа селективност (ЛС) между Sepam;
- Постъпил блокиращ сигнал (BI) в Sepam.

Настройка на МТЗ за моделите Sepam, без посочна функция (S40, T40 и M41):

Функция ANSI 50/51 Phase overcurrent, Group A, Logic discrimination (LD), Element 1: Tripping curve – Definite time (DT). Основна защита от к.с. с логическа селективност (ANSI 68) - високо стъпало на зоната.

Закъснението на защитата на изводите от РП и входовете на ГПП 2 е $T_s = 0,1s$ в съответствие с препоръките в (Schneider Electric, 2006). Изводите от двигателните секции в ГПП 2 са с $T_s = 0,3 \div 0,4s$ поради липсата на логическа селективност между тях и КРУ в РП.

За изводи за трансформатори от РП избраното закъснение $T_s = 0,1s$ за „високо“ стъпало е допустимо при изпълнено условие:

$$1,25I_{scBmax} < I_{sA} < 0,8I_{scAmin} \quad (1)$$

където:

I_{scBmax} - максимална стойност на тока на к.с. долната защитавана зона (В);

I_{sA} - ток на настройка на защитата на горната защитавана зона (А);

I_{scAmin} - минимална стойност на тока на к.с. горната защитавана зона (А).

От (1) се получават препоръчаните от производителя коефициент на сигурност (селективност) k_c :

$$k_c = \frac{I_{sA}}{I_{scBmax}} > 1,25 \quad (2)$$

и коефициент на чувствителност k_q

$$k_q = \frac{I_{scAmin}}{I_{sA}} > 1,25 \quad (3)$$

В съответствие с (Наредба № 3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии), коефициентът на чувствителност на стъпални токови защиты при наличие на сигурно избирателно действие на резервно стъпало (чл. 852 т.4 а) има стойност не по-малка от 1.3 – по-високи от посочените от производителя (3).

Токът на сработване I_{sA} на защитата от к.с. в зоната на първичната намотка на трансформатора се съобразява с още две условия: тока на включване на трансформатора на празен ход и пусковия ток на най-мощния двигател НН при работещи всички останали двигатели.

За изводи за двигатели СН от РП токът на сработване на защитата от к.с. (при $T_s = 0,1s$ трябва да отговаря на условието (Schneider Electric, 2006):

$$I_{sA} \geq 1,2I_{start} \quad (4)$$

За изводи за кондензаторни батерии СН от РП токът на сработване на защитата от к.с. (при $T_s = 0,1s$ трябва да отговаря на условието (Schneider Electric, 2006):

$$I_{sA} \geq 10I_n, \quad (5)$$

където I_n е обявената (номиналната) стойност на тока на батерията.

За входове и секционни прекъсвачи в ГПП и РП и изводи от ГПП токът на сработване на горната защитата от к.с. I_{sA} и този на долната I_{sB} трябва да отговарят на условието (Schneider Electric, 2006):

$$I_{sA} \geq I_{sB} \quad (6)$$

Функция ANSI 50/51 Phase overcurrent, Group A, Time-based discrimination (TBD), Element 4: Tripping curve – Definite time (DT) или Inverse Definite Minimum Time (IDMT).

Предназначение:

- Основна защита от к.с. или претоварване - ниско стъпало на зоната;
- Резервна МТЗ (далечно резервиране) на съседната зона по низходящ ред - ниско стъпало на зоната.

За изводи за трансформатори от РП параметрирането на защитата от к.с. (ниско стъпало) се съобразява с условията (Schneider Electric, 2006):

$$I_{sA} < 5I_n \quad (7)$$

$$T_s \geq T_{sHH} + 0,3 \quad (8)$$

При липса на необходимост от ниско стъпало елементът се изключва (изводи за КБ и входи на двигателни секции на ГПП 2).

За изводи от двигателни секции на ГПП 2 – Tripping curve – Definite time (DT). Елементът се параметрира без закъснение и се използва в логически уравнения за задържане на ниското стъпало на защитата от е.з.с. (ANSI 50N/51N) по време на пуск на двигателя. Токът на сработване отговаря на условието:

$$1,25I_n < I_{sA} < 0,8I_{start}, \quad (9)$$

където I_n е обявената (номиналната) стойност на тока на двигателя.

Функция ANSI 50/51 Phase overcurrent, Group B, Time-based discrimination (TBD), Element 3: Tripping curve – Definite time (DT). Основна защита от к.с. - високо стъпало на зоната.

Закъснението за изводите от РП е $T_s = 0,1$ s и нараства във вертикална посока с $\Delta T = 0,3$ s в съответствие с препоръките в (Schneider Electric, 2006). Настройката на тока на сработване на защитите от к.с. (високо стъпало) се осъществява със стойности, числено равни на тези за Group A LD Element 1.

Функция ANSI 50/51 Phase overcurrent, Group B, Time-based discrimination (TBD), Element 4. Функциите са като на Group A Element 4. Параметрирането на защитите на изводите от РП се осъществява със стойности, числено равни на тези за Group A Element 4.

Настройка на МТЗ за моделите Sepam, с посочна функция (S42 и T42)

Функция ANSI 50/51 Phase overcurrent. Параметрира се по начин аналогичен на описания по-горе за Sepam, без посочна функция.

Функция ANSI 67 Directional overcurrent, Group A, Logic discrimination (LD), Element 1. Tripping curve – Definite time (DT). Direction – Line. Основна защита от к.с. - високо стъпало на зоната в посока Line. Закъснението на сработване на всички нива е $T_s = 0,1$ s. Токът на настройка е числено равен на този на 50/51 Phase overcurrent Group B Element 3 (TBD).

Функция ANSI 67 Directional overcurrent, Group A, Logic discrimination (LD), Element 2. Tripping curve – Definite time (DT). Direction – Busbar. Основна защита от к.с. - високо стъпало на зоната в посока Busbar. Element 2 се параметрира аналогично на Element 1 като се съобразява с токовете на късо съединение в посока Busbar.

Заклучение

Опитно е установено, че Sepam не е параметриран заводски да изпълнява необходимата за РУЧН на Аурубис система за МТЗ с комбинирана логическа и посочна селективност. За реализацията на проекта са направени целенасочени експериментални изследвания. Синтезирана е функционално-структурна схема на системата и време-диаграма за нейната работа. Дефинирани са настройките на МТЗ в съответствие с изискванията на нормативната уредба и съобразени с препоръките на производителя на цифровите защиты.

Литература

- Schneider Electric. (2006). Electrical network protection. Protection guide, 72. Schneider Electric, France.
- Schneider Electric. (2012). Electrical network protection Sepam series 40. Rueil Malmaison - France: Schneider Electric.
- Siemens PTD EA. (2005). Applications for SIPROTEC Protection Relays. Germany.
- Наредба № 3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии. ДВ бр.90, 91/2004, доп и изм. ДВ бр.108/2007; ДВ бр.92 / 2013.

Статията е рецензирана от проф. д-н Менто Ментешев.