



КОНЦЕПТ НАПАЈАЊА СЛОЖЕНИХ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА НА ПРИМЕРУ
ПОГОНА ЗА ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА

CONCEPT OF POWER SUPPLYING AN COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESS ON
EXAMPLE OF FLUE GAS DESULPHURIZATION FACILITY

Ђорђе Радовановић, Борис Думнић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

Кратак садржај – У овом раду приказан је концепт и специфичности у напајању електричном енергијом потрошача погона за одсумпоровање димних гасова у термоелектранама. Предложено је техничко решење које обезбеђује повећање поузданости у напајању предметног технолошког решења. Дат је осврт и на законску регулативу која дефинише неопходне мере заштите животне средине у предметној области а приказан је и сам технолошки процес термоелектране као и постројења за одсумпоровање димних гасова.

Кључне речи: енергија/одсумпоровање/електрана

Abstract – This paper describes the concept of power supplying flue gas desulphurisation plant in thermal power plant, with focus on the specifics in it's realisation. It is proposed one technical solution, which provides increasing in reliability in it's working. It is given a review of legislation which defines a necessary measures of environmental protection. Also it is described a working principle of thermal power plant and flue gas desulphurisation plant.

Keywords: energy/flue gas desulphurization/power plant

1. УВОД

Годинама уназад, основни задатак електропривреде била је производња електричне енергије. Технологија имплементирана пре неколико деценија у оквиру термоелектрана, није узимала у обзир деструктиван утицај продуката сагоревања на основне услове за живот и околни живи свет. Управо таква постројења, један су од најзначајних произвођача, али и тешко наслеђе електропривреде [1].

Усвајањем нових националних закона у области заштите животне средине а посебно обзиром на преузете међународне обавезе намеће се потреба за реализацијом погона за смањење емисије штетних гасова из енергетских објеката. Резултати бројних истраживања, покушали су оправдати енергију и новчана средства која треба потрошити за овакве погоне.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Борис Думнић, ван. проф.

Производња електричне енергије у Републици Србији остварује се највећим делом у оквиру Јавног предузећа Електропривреда Србије.

Термоенергетске капацитете чини осам термоелектрана са 25 блокова, који као погонско гориво користе лигнит укупне инсталисане снага од 5.171 MW као и три термоелектране-топлане са 6 блокова, укупне инсталисане снаге 353 MW [1]. Просечна старост термоенергетских јединица на угаљ у Републици Србији износи 29 година. Оваква старост и технолошка застарелост постројења, проузрокују велику потрошњу горива. Карактеристично за ове погоне је и хетерогеност у погледу опреме. У већини постројења која користе линит у Србији, емисија чврстих честица, сумпорних и азотних оксида вишеструко превазилази дозвољене граничне вредности емисије, а такође ни одлагање пепела и шљаке, као и третман вода нису задовољавајући.

У овом раду објашњена је улога и дато једно конкретно технолошко решење погона за одсумпоровање димних гасова. Централно место у раду, посвећено је концепту напајања погона за одсумпоровање димних гасова у термоелектрани, са фокусом на специфичности у његовој реализацији, с обзиром на одабрану технологију. Концепција представљања одабраног решења, започиње избором напојних трансформатора на средњем напону, како би се постепено, стигло до крајњих нисконапонских потрошача. Представљено решење напајања, је у највећој мери обликовала сама технологија процеса.

2. ПОСТРОЈЕЊЕ ЗА ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА У ПОГОНУ ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

Примарне и секундарне мере ограничења емисија оксида сумпора и азота, користе се у котловима у експлоатацији или у новоизграђеним котловима са сагоревањем у спрашеном стању. Постројења за одсумпоровање димних гасова, која омогућавају испуњење строгих ограничења по питању емисије SO₂, у оквиру усвојених стратегија очувања животне средине су:

1. поступак дозирања сорбента непосредно у ложиште котла (FSI),
2. комбинација претходног поступка и хлађења димних гасова распршивањем воде у

реактору који се налази између котла и филтара (FSI + Q),

3. полусуви поступак, који се састоји од три фазе: хлађење димних гасова, мешање димних гасова са сувим сорбентом у облику $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и рецикулација сорбента и производа реакције сорбента и димних гасова.
4. влажни метод – испирање димних гасова у сепаратору воденом суспензијом сорбента при чему се као крајњи производ добија гипс. Овај метод познат под називом „кречњачки-мокри поступак“ се у пракси показао као најефикаснији и техно-економски најоптимизованији.

2.1 Кречњачки-мокри поступак одсумпоравања

Најпознатији и најефикаснији метод одсумпоравања димних гасова је кречно-мокри поступак. Овом методом достиже се ефикасност од 90-95%. Основни принцип је, испирање димних гасова воденом суспензијом креча или кречњака у апсорбиционом реактору, чиме се добија сулфит креча CaSO_3 . Додатно засићење кисеоником, омогућава конверзију CaSO_3 у CaSO_4 , даљим испирањем и сушењем добија се гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

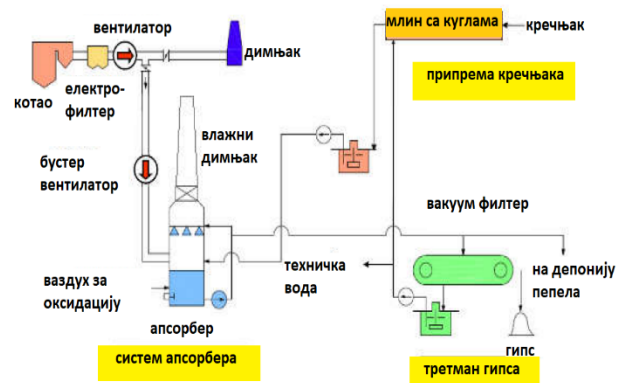
Прах кречњака, или негашеног креча се помоћу пумпи убацује у апсорбер. Циркулационе пумпе, цевоводи и систем млазница обезбеђују интензивно испирање димних гасова у апсорбиционом торњу. У зависности од степена интензивности испирања, зависи и ефикасност. У оваквом процесу одсумпоравања се додатно уклањају једињења HCl и HF , као и пепео. Из отпада се, даље, издвајају тешки метали. Рахлађен димни гас, потребно је загрејати, и тек након загревања упутити у димњак [2]. Висока ефикасност ових постројења, релативно ниска потрошња сорбента и могућности искоришћавања отпадног продукта – гипса, омогућили су широку примену технологије овог типа.

2.2 Подсистеми постројења за одсумпоравање димних гасова мокрим поступком

Постројење за одсумпоравање димних гасова, представља један сложен систем, који чине следећи сегменти:

- систем апсорбера,
- систем димног гаса,
- систем за пријем и складиштење кречњака,
- систем за припрему и складиштење кречњачке суспензије,
- систем за одводњавање суспензије гипса,
- системи дренаже,
- помоћни системи (систем технолошке воде, напајање електричном енергијом, систем управљања, систем компримованог ваздуха итд.) и
- систем за транспорт и одлагање гипса.

Основни технолошки процес који се одвија у овом поступку представљен је на слици 1 ().



Слика 1. Одсумпоравање димних гасова влажним, кречњачким поступком [4]

3. СПЕЦИФИЧНОСТИ НАПАЈАЊА ПРОЦЕСНО КРИТИЧНИХ ПОТРОШАЧА

3.1 Димензионисање и избор уљних трансформатор

Напајање електричних инсталација постројења за одсумпоравање димних гасова, врши се са генераторских сабирница енергетских блокова термоелектране. Прикључење мреже система за одсумпоравање остварује се помоћу оклопљених сабирница блокова, са којих се напајају уљни трансформатори.

Након расподеле потрошње, дате од стране испоручиоца технологије одсумпоравања, у циљу реализације напајања најпре се приступа анализи потребне енергије и димензионисању опреме. Најпре је потребно доћи до једновремене снаге потрошача. Она се добија као улазна снага потрошача помножена са фактором једновремености. Из табела, приложених у самом мастер раду из кога је приистекао овај рад, за одабрану снагу трансформатора од 31,5MVA, може се закључити да ће у нормалном раду најоптерећенији трансформатор бити искоришћен са само 37% свог капацитета.

Важан параметар који је било потребно одредити је напон кратког споја. У зависности од називне снаге, различите су карактеристичне вредности напона кратког споја. Он се изражава у процентима, и као такав је једнак импеданси кратког споја. У режиму кратког споја, доминантни су флуксиви расипања примарног и секундарног намотаја, и ови параметри су кључни за прорачун струје кратког споја, и димензионисање опреме на струјна, термичка и механичка напрезања.

$$\underline{U}_k = (R_k + jX_k)\underline{I}_k \quad (3.1)$$

$$u_k = \frac{Z_k I_n}{U_n} \quad (3.2)$$

$$u_r = \frac{R_k I_n}{U_n} \quad (3.3)$$

$$u_x = \frac{X_k I_n}{U_n} = \sqrt{u_k^2 - u_T^2} \quad (3.4)$$

$$u_k(\%) = 100u_k = 100 \frac{U_k}{U_n} = z_k[\%] \quad (3.5)$$

Импеданса треба да ограничи струју кратког споја на секундару трансформатора испод вредности од 50kA, што је минимум за димензионисање прекидне опреме. С обзиром на велики број мотора на 6kV, у систему за одсумпоравање, неопходно је уважити њихов утицај на струју кратког споја. Струја која дотиче у место квара од асинхроног мотора износи:

$$I''_{am} = \frac{1,1U_n}{X_k + X_T} \quad (3.6)$$

Укупна субтранзијентна струја квара:

$$I'' = \frac{1,1U_n}{X''} + \frac{1,1U_n}{X_k + X_T} \quad (3.7)$$

При чему је

- X'' -еквивалентна реактанса мреже и
- X_T -реактанса трансформатора.

Узевши у обзир утицај мотора који једновремено доприносе струји кратког споја на истим сабирницама, долази се до збира њихових називних струја и називних струја покретања:

- збир називних струја [A] = 2.428
- збир називних струја покретања [A] = 14.762, што је узето као укупан допринос мотора струји кратког споја, једноврено прикључених на исти сабирнички систем.

На основу израза за укупну субтранзијентну струју квара, може се доћи до компоненте струје кратког споја из мреже, која треба да буде ограничена на: 50kA-14,76kA=35,24kA. На основу израза за импедансу трансформатора:

$$Z_{tr} = \frac{C_{max} U_L}{\sqrt{3} I_{ks}} = 0,1081 \Omega \quad (3.8)$$

где је:

- Z_{tr} - минимална захтевана импеданса трансформатора,
- C_{max} -напонски фактор (1.1 за напоне веће од 1kV, према стандарду IEC 60909),
- U_L -напон мреже [kV] и
- I_{ks} -расположива струја кратког споја.

Из израза:

$$Z_{tr} = \frac{u_k U_{nt}^2}{100\% S_{nt}} \quad (3.9)$$

Где је:

- Z_{tr} - минимална захтевана импеданса трансформатора,
- u_k -називни напон кратког споја [%],

- U_{nt} -називни напон трансформатора [kV] и
- S_{nt} -називна снага трансформатора.

Долази се до вредности $u_k=9,46\%$, док је стандардом (IEC 60076-5) препоручена вредност износила 10%, и за ту вредност омска вредност импедансе износи $Z_T=0,1143 \Omega$. Када је у питању примена трансформатора са теретном склопом, примењује се и фактор корекције:

$$K_t = \frac{0,95 C_{max}}{1 + 0,6 X_t} = 0,978 \quad (3.10)$$

Сада прерачуната вредност импедансе износи: $Z_t=K_t \times Z_T=0,1120 \Omega$, и то је мање од препоручене вредности за $u_k=10\%$. Како се у колу кратког споја налази и импеданса мреже, препоручена вредност од 10% ће бити довољна да ограничи почетну вредност струје квара испод 50kVA на сабирницама 6kV. Овај прорачун, потврђен је у прорачуну струје квара у мрежи [3].

3.2 Непрекидност напајања СН разводног постројења – брза преклопна аутоматика

Ради одржавања максималног континуитета процеса, постројење је опремљено брзом преклопном аутоматиком (FT-fast transfer). Основна предност примене брзог аутоматског трансфера, огледа се у могућности наставка рада потрошача без прекида технолошког циклуса. Стања у којима се јавља потреба за пребацивањем напајања на резервни довод су:

- појава квара на напојном доводу,
- одржавање напојног трансформатора или доводне ћелије и
- одступање параметара квалитета напона.

На сабирницама са којих се напајају мотори јавља се резидуални напон. Он је последица постојања флукса у ротору, услед протицања струје кроз роторско коло, која не нестаје тренутно. Основни уређај је микропроцесорска јединица која делује паралелно са заштитним релеом на укључење и искључење калемова прекидача. Основне информације кључне за управљање овог уређаја су напони на напојним водовима и уклопно стање прекидача.

Аутоматски режим, изводи се на четири начина:

- брзи трансфер (*fast transfer*),
- трансфер на прво поклапање фазе (*transfer at 1 st phase coincidence*),
- трансфер према резидуалном напону (*residual voltage*) и
- временски контролисан трансфер (*long time transfer*).

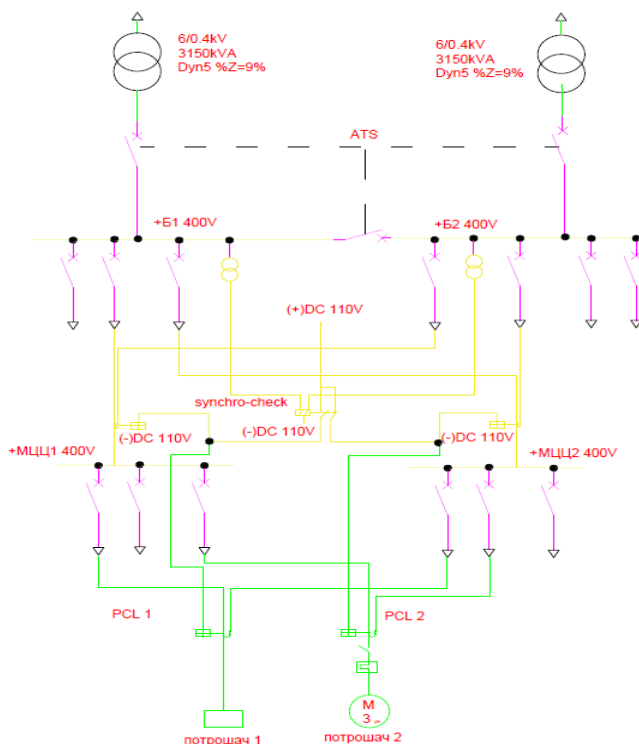
3.2 Поуздано снабдевање нисконапонских потрошача електричном енергијом

Различити су начини којима се може остварити управљање прекидачким јединицама у функцији брзог аутоматског пребацивања напајања (*eng. Automatic transfer switch*). Често се у те сврхе користе

префабрикована решења познатих произвођача, или се одговарајућа логика имплементира у неку управљачку јединицу (нпр. ПЛЦ). Систем је опремљен функцијом провере синхронизма, која условљава моменат преласка са једног извора на други. Сам концепт заснива се на сигнаlima који дају информације о статусу прекидачких јединица, заштитних релеа, релеа за синхронизацију (*synchro-check relays*) и интегрисаног система дистрибуиране контроле (*eng. DCS - distributed control system*). Са главних постројења напајају се моторни контролни центри (*eng. MCC – motor control center*), који су изведени као касетна разводна постројења. У оквиру ормана са касетама, групишу се потрошачи према потребама технолошког процеса. Нови степен повећања поузданости напајања уводи се двоструким напајањем поменутих MCC развода.

Постоји још један додатни степен расклопне опреме, који омогућава несметано снабдевање појединих потрошача, чак и у случају одржавања неког извода касетног развода ниског напона (MCC-a).

Дакле, поједини потрошачи који су процесно критични, обезбеђени су управљачком техником помоћу посебних пребацача, контактора и термичке заштите. За те потребе формиране су посебне касете (PCL - process critical load). Ове касете се напајају, као MCC-ови, двострано [5].



Слика 3. Концепт напајања крајњих нисконапонских потрошача [5]

4. ЗАКЉУЧАК

Постројења термоелектране, данас незаобилазно морају да садрже постројење за одсумпоравање

димних гасова уколико желе да задовоље важеће критеријуме из области заштите животне средине.

Погон, који је на било који начин интегрисан у оквиру термоелектране, и има ма колико миноран утицај на њен рад, потребно је на најбољи могући начин обезбедити у смислу напајања електричном енергијом. Представљено технолошко решење за одсумпоравање димних гасова у термоелектрани, представља тренутно најефикаснију методу.

Специфично решење напајања потрошача погона за одсумпоравање, представљено кроз овај рад, обезбеђује поуздано снабдевање електричном енергијом и представља техно-економско оптимално решење.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зелена књига Електропривреде Србије, Београд, јун 2009.
- [2] Енергопројект ентел, Постројење за одсумпоравање димних гасова – ажурирана студија о процени утицаја на животну средину, јул 2015.
- [3] SUE 3000 High Speed Transfer Device Product Description, ABB.
- [4] Пројекат технологије постројења за одсумпоравање димних гасова термоелектране Никола Тесла А, Београд, 2018.
- [5] Ђорђе Радовановић, "Концепт напајања сложених технолошких процеса на примеру погона за одсумпоравање димних гасова", Мастер рад, Факултет техничких наука у Новом Саду, 2019.

Кратка биографија:



Ђорђе Радовановић – рођен у Ваљеву 1995. године. Дипломирао на Факултету техничких наука из области Електротехника и рачунарство – Енергетска електроника и електричне машине, 2018. године. Област интересовања: високнапонска постројења, електромоторни погони у индустрији, а велика љубав – пчеларство.

контакт:
radovanovicdjordje95@gmail.com



Борис Думнић дипломирао је 2003. године на Универзитету у Новом Саду, Факултету техничких наука из области електротехника и рачунарство. Од 2004. године запослен је на Факултету техничких наука у Новом Саду. Магистарски рад је одбранио 2007. године, а 2013. године је одбранио и докторску тезу. Област интересовања су му електромоторни погони, енергетска електроника и обновљиви извори електричне енергије.