

**ТЕХНИЧКА ПРЕПОРУКА бр.1**  
**- ДОДАТАК 2 -**

**ОСНОВНИ ТЕХНИЧКИ ЗАХТЕВИ**  
**ЗА ИЗБОР И ПРИМЕНУ**  
**СУВИХ ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА**  
**10/0,42 kV и 20/0,42 kV**

**- ПРВО ИЗДАЊЕ -**

На основу предлога Радне групе, Технички савет ЈП ЕПС - Дирекције за дистрибуцију електричне енергије је на 194. састанку који је одржан 09.11.2011. у Пожаревцу, донео одлуку: **усваја се**

### **ДОДАТАК 2 ТЕХНИЧКЕ ПРЕПОРУКЕ бр.1:**

## **ОСНОВНИ ТЕХНИЧКИ ЗАХТЕВИ ЗА ИЗБОР И ПРИМЕНУ СУВИХ ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА 10/0,42 kV и 20/0,42 kV**

#### **Чланови Техничког савета:**

- 1 Мирослав Босанчић, председник, ПД "Електродистрибуција Београд" д.о.о. Београд
- 2 Павел Зима, ПД "Електровојводина" д.о.о. Нови Сад
- 3 Саша Стефановић, ПД "Електросрбија" д.о.о. Краљево
- 4 мр Малиша Божић, ПД ЕД "Југоисток" д.о.о. Ниш
- 5 мр Миодраг Ристић, ПД ЕД "Центар" д.о.о. Крагујевац
- 6 Слободан Кујовић, ЈП ЕПС - Дирекција за стратегију и инвестиције
- 7 Миодраг Сретовић, ЈП ЕПС - Дирекција за дистрибуцију, Београд

#### **Чланови Радне групе:**

- 1 Федора Лончаревић, ЈП ЕПС - Дирекција за дистрибуцију, Београд
- 2 мр Душан Чомић, ПД "Електровојводина" д.о.о. Нови Сад
- 3 Миодраг Кировић, ПД "Електродистрибуција Београд", д.о.о. Београд
- 4 Драган Еровић, ПД "Електросрбија" д.о.о. Краљево
- 5 Душан Стошић, ПД ЕД "Југоисток" д.о.о. Ниш
- 6 Биљана Јанковић, ПД ЕД "Центар" д.о.о. Крагујевац
- 7 Новица Пејчић, АБС "Минел Трафо" а.д. Младеновац
- 8 Милован Главоњић, "МИДВЕЈ МГВ" - сарадник
- 9 Томислав Бојковић, пензионер - сарадник ЈП ЕПС - Дирекције за дистрибуцију електричне енергије

новембар 2011.

Издавач:	<b>ЈП ЕПС – ДИРЕКЦИЈА ЗА ДИСТРИБУЦИЈУ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ БЕОГРАД, Војводе Степе 412</b>
Техничко уређење:	Федора Лончаревић и Томислав Бојковић
Коректура:	Федора Лончаревић и Томислав Бојковић

**Напомене уз I издање Додатка 2 ТП – 1:**

*Иако није "типско" решење које се користи у мрежама које гради ЕД Србије, према техничким препорукама ЕД Србије (ТП-1а) дозвољена је примена и сувих енергетских трансформатора (ЕТ-а), па се указала потреба да се дефинишу основни технички захтеви за избор и примену сувих ЕТ-а.*

**Радна група**

*новембар 2011.*



## 1 ОПСЕГ ВАЖЕЊА И НАМЕНА ПРЕПОРУКЕ

1.1 Ова препорука се односи на утврђивање основних техничких захтева за избор сувог енергетског трансформатора (у даљем тексту: суви ЕТ) 10/0,42 kV и 20/0,42 kV који се користи у трансформаторској станици (ТС) коју гради или користи (одржава) ЕД Србије. Дозвољено је коришћење и преклопљивог (превезивог) сувог ЕТ-а 10(20)/0,42 kV, али није предмет разматрања ове препоруке.

**Ова препорука се односи на избор сувог ЕТ-а који је намењен искључиво за унутрашњу монтажу, заливен у епоксидној смоли, са или без металног заштитног кућишта.**

**Ова препорука се не односи на избор сувог ЕТ-а који је намењен за уградњу:**

- у електродистрибутивну ТС у којој се обавезно примењује ЕТ за спољашњу монтажу, и то: слободностојећа ТС (тачка и табела 6.1.2 у ТП-1а и тачка 3.7 у ТП-1б) и стубна ТС (ТП-1в);
- у објекат специјалне намене који служи за производњу, монтажу и/или складиштење запаљивих течности, опасних хемикалија, експлозива и слично;
- у објекат са израженом појавом вибрација, на пример: торањ ветроелектране.

1.2 Ова препорука је усаглашена са важећим техничким прописима, српским (SRPS) и признатим светским стандардима (IEC, CENELEC, NESC), као и техничким препорукама ЕД Србије.

Код коришћења домаћих прописа наведених у тачки 3.3.а, у овој препоруци је уважена чињеница да наведени **прописи за заштиту од пожара третирају примену уљних ЕТ-а** и друге опреме која се користи у ТС и садрже запаљиве течности (уље), или се то подразумева, **тако да не обрађују примену савремених конструкција сувих ЕТ-а**. Зато се у овој препоруци проблем заштите од пожара за ТС 10(20)/0,4 kV у коју се уграђује суви ЕТ обрађује према захтевима светски признатих стандарда (на пример: National Electricity Safety Code C2-2001 (IEEE)).

1.3 Ова препорука треба:

- да одреди основне погонске и амбијентне услове у којима ће да ради одабрани суви ЕТ;
- да изврши поређење сувог и уљног ЕТ-а (техничке карактеристике и цена) и наброји објекте у којима је примена сувог ЕТ-а оправдана;
- да изврши типизацију основних техничких карактеристика сувог ЕТ-а (напон, струја, снага, губици итд.);
- да изврши типизацију основних конструктивних карактеристика сувог ЕТ-а (магнетно коло, намотаји итд.) и заштитне и помоћне опреме;
- да утврди и детаљније обради основне захтеве за испитивање и пријем сувог ЕТ-а;

- да детаљније обради основне техничке захтеве и препоруке за коришћење сувог ЕТ-а у високим објектима, Прилог.

#### 1.4 Поређење сувог и уљног ЕТ-а (стандардне конструкције):

##### а) Предности сувог ЕТ-а:

- **изолација намотаја (епоксидна смола) и технологија заливања под вакуумом омогућују да суви ЕТ не може да изазове почетни пожар нити да прошири пожар на околину, тачка 7.11;**
- **не садржи опасне материје и нема негативан утицај на околину.**

Предности сувог ЕТ-а долазе до изражаја када се припадајућа ТС уграђује у објекат где борави много људи или у објекат са израженом опасношћу од пожара, потреса, вибрација итд. као:

- високи објекти, тачка 2.7, укључујући и лоцирање ТС са сувим ЕТ-ом на спрату тих објеката;
- солитери, болнице, хотели, тржни центри, национални музеји, спортске хале, подземне етажне објеката, гараже;
- објекти у заштићеној зони за водоснабдевање.

##### б) Недостаци сувог ЕТ-а у односу на уљни ЕТ:

- **знатно већа набавна цена** за исту назначену снагу и исти однос трансформације;
- **веће вредности укупних губитака и мањи степен искоришћења**, због високе термичке класе изолације F (155°C) и за око 50% већих радних температура намотаја, као и због већих димензија активног дела ЕТ-а и других изнуђених конструктивних решења;
- **ниже вредности дозвољених оптерећења** при зимским температурама и краткотрајним преоптерећењима, док рад у принудном погону није дозвољен;
- **преузима већу реактивну снагу** из СН мреже због већих вредности реактанси и напона кратког споја  $u_k$  [%];
- **велика осетљивост на парцијална пражњења**, па се не препоручује примена сувог ЕТ-а за рад у изолованој мрежи 10(20) kV у којој се толерише трајање земљоспоја дуже од 3 s, због могућности појаве пренапона релативно великих фактора пренапона;
- **већа осетљивост на загађење**, јер су намотаји, магнетно коло и вентилациони канали директно изложени негативном утицају прашине и других штетних материја присутних у ваздуху за вентилацију ЕТ-а;
- **ЕД нема искуство** на респективном броју узорак **о поузданости рада сувог ЕТ-а и веродостојности прокламованог века трајања** од више десетина година.

в) На основу главних предности и недостатака набројаних под а) и б), у садашњим условима се усваја **закључак: примена сувих ЕТ-а је оправдана само за уградњу у објекте који су набројани под а).**

## 2 ТЕРМИНИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

- 2.1 **Суви енергетски трансформатор (суви ЕТ):** трансформатор чије језгро и намотаји нису потопљени у изолациону течност.
- 2.2 **Суви ЕТ са заливеним намотајима:** трансформатор чији су намотаји заливени чврстом изолацијом.
- 2.3 **Оклопљен суви ЕТ:** суви ЕТ у заштитном кућишту које је изведено тако да спољашњи ваздух циркулише и хлади намотаје и језгро.
- 2.4 **Неоклопљен суви ЕТ:** суви ЕТ без заштитног кућишта, тако да спољашњи ваздух директно хлади намотаје и језгро.
- 2.5 **Затворена електрична погонска просторија:** просторија у објекту који има и другу намену, која служи искључиво за смештај и погон електричног постројења, која је у току погона тог постројења закључана и у њу је приступ дозвољен само за то овлашћеним лицима.
- 2.6 **Електрична погонска просторија:** просторија у објекту који има и другу намену, која служи првенствено за смештај и погон постројења у коју је дозвољен приступ само лицима која одржавају та постројења или њима рукују.
- 2.7 **Високи објекат:** зграда са просторијама за боравак људи, чији се подови највишег спрата налазе најмање 22 m изнад најниже коте терена на који је могућ приступ и на коме је могућа интервенција уз коришћење аутомеханичких лестава.

### 3 ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ

3.1 **Суви ЕТ** треба да буде конструисан, произведен и испитан у складу са признатим техничким достигнућима и стандардима, и испоручен заједно са потребним уређајима и прибором.

3.2 **Назначене величине ЕТ-а:** напон, струја, снага итд. односе се на главни извод.

3.3 Суви ЕТ треба да задовољи следеће прописе и стандарде:

**а) Прописи:**

- Правилник о техничким нормативима за заштиту електроенергетских постројења и уређаја од пожара (Сл. лист СФРЈ бр. 74/90.).
- Правилник о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара (Сл. лист СФРЈ бр. 7/84.).

При испуњавању захтева из наведених прописа, подразумева се да се ограничења дата у овим прописима односе само на ЕТ и опрему у ТС који садрже запаљиве течности (уље), па зато могу да изазову и/или пренесу пожар.

**б) Стандарди:**

- SRPS EN (IEC) 60076-11/2004: Енергетски трансформатори. Суви енергетски трансформатори.
- SRPS IEC 905/1992: Енергетски трансформатори. Смернице за терећење сувих енергетских трансформатора.
- SRPS IEC 50-421: Енергетски трансформатори. Термини и дефиниције.
- SRPS IEC (EN) 60076-1/1997: Енергетски трансформатори. Опште.
- SRPS IEC (EN) 60076-2: Енергетски трансформатори. Пораст температуре.
- SRPS EN (IEC) 60076-3/2001: Енергетски трансформатори. Степени изолације, диелектрична испитивања.
- SRPS EN (IEC) 60076-5/2000: Енергетски трансформатори. Издржљивост при кратком споју.
- SRPS EN (IEC) 60076-10/2001: Енергетски трансформатори. Одређивање нивоа буке.
- NESC - National Electricity Safety Code C2-2001 (IEEE), Section 15. Transformers and Regulators.



#### 4 ОСНОВНИ ПОГОНСКИ И АМБИЈЕНТНИ УСЛОВИ

4.1 Суви ЕТ је предвиђен за рад у дистрибутивној мрежи називног напона 10 kV (највиши напон: 12 kV), 20 kV (највиши напон: 24 kV) и 0,4 kV (највиши напон: 1,1 kV), називне фреквенције 50 Hz.

4.2 Уземљења неутралних тачака дистрибутивних мрежа 10 kV, 20 kV и 0,4 kV изводе се према ТП-6 ЕД Србије:

- а) Неутрална тачка мреже 10 kV или 20 kV је уземљена преко нискоомске импедансе, или изолована.
- б) Неутрална тачка мреже 0,4 kV је директно уземљена.

4.3 У дистрибутивним мрежама Србије типизирани су следеће вредности максималних дозвољених трофазних струја (снага) кратких спојева:

- мрежа 10 kV: 14,5 kA (250 MVA);
- мрежа 20 kV: 14,5 kA (500 MVA);
- мрежа 0,4 kV: 26 kA (18 MVA) у кабловској мрежи и 16 kA (11 MVA) у надземној мрежи.

4.4 **Нормални услови рада сувог ЕТ-а** на месту монтаже (SRPS IEC 60076-1, & 4.2):

- надморска висина: не прелази 1000 m;
- највиша температура ваздуха: + 40°C;
- најнижа температура ваздуха у просторији: - 5°C, с тим што је дозвољено да при транспорту и складиштењу суви ЕТ буде изложен температури ваздуха од - 25°C, SRPS IEC 60076-1, & 13.1, класа С1 (Ц1) за климатске услове;
- средња месечна температура у најтоплијем месецу: + 30°C;
- средња годишња температура ваздуха (референтна): + 20°C;
- услови загађења: лаки, нису потребне посебне мере заштите;
- сеизмички утицаји, вибрације: не постављају се посебни захтеви, изузев за посебну намену (на пример: код уградње сувог ЕТ-а у торањ ветроелектране, али то није предмет разматрања ове препоруке).

## 5 ОСНОВНЕ ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СУВОГ ЕТ-а

### 5.1 Извођење:

5.1.1 Суви ЕТ је трофазна јединица са два одвојена намотаја. СН намотај је примарни са изводима за регулацију напона.

5.1.2 Суви ЕТ се изводи:

- **без заштитног кућишта** (степен заштите **IP00**) ако се погон одвија у затвореној електричној погонској просторији (тачка 2.5), или
- **у металном заштитном кућишту** (степен заштите **IP31**) ако се погон одвија у електричној погонској просторији (тачка 2.6).

Иако епоксидна смола служи као изолација СН намотаја, **спољашњу површину СН намотаја сувог ЕТ-а треба третирати као да је на пуном називном напону СН мреже.**

Заштитно кућиште пружа ефикасну заштиту од директног додира, али отежава услове хлађења намотаја.

Ако се у ТС, која се налази у затвореној електричној погонској просторији користи суви ЕТ без заштитног кућишта (степен заштите IP00), морају да се предузму допунске мере заштите од ненамерног директног додира (погодан распоред опреме, као и примена мрежа, пречага, зидова, врата итд.).

### 5.2 Назначене снаге сувог ЕТ-а:

Назначена снага важи за трајан погон (тачка 5.10), назначену фреквенцију 50 Hz и главни извод СН намотаја.

Главни извод је извод максималне струје.

За намену коју третира ова препорука, из стандардног низа се користе назначене снаге: **400 kVA, 630 kVA и 1000 kVA.**

**За потребе индустријских погона могу да се користе и веће вредности назначених снага**, али карактеристике тих сувих ЕТ-а нису предмет разматрања ове препоруке.

У дистрибутивној мрежи Србије **није дозвољено повећање снаге сувог ЕТ-а доградњом вентилатора** ради принудне вентилације.

### 5.3 Назначени напони намотаја:

**Намотај вишег напона** је 10 kV или 20 kV.

**Намотај нижег напона** је 420 V / 242 V.

### 5.4 Изводи и регулација напона (SRPS IEC 60076-1):

Намотај вишег напона је намотај са изводима. Преко извода се врши подешавање (промена) преносног односа и регулација напона.

Опсег извода за регулацију напона је  $\pm 2 \times 2,5\%$ .

**Изводи за регулацију напона** се бирају тако што се врши спајање одговарајућих прикључака који се налазе са СН стране намотаја ЕТ-а, са 5 позиција (извода) према табlici спојева за регулацију напона са којом је опремљен сваки суви ЕТ.

Спајање се врши искључиво у безнапонском стању.

Суви ЕТ се нормално испоручује са изведеним спојем за регулацију напона који одговара положају главног извода.

5.5 **Спрега: Dyn5** за назначене снаге 400 kVA, 630 kVA и 1000 kVA.

5.6 **Напон кратког споја сувог ЕТ-а** (SRPS IEC 60076-1) **10/0,42 kV и 20/0,42 kV**, сведен на референтну температуру  $\theta_{ref} = 120^{\circ}\text{C}$ , износи:

- 4% за назначену снагу 400 kVA, и
- 6% за назначене снаге 630 kVA и 1000 kVA.

5.7 **Хлађење сувог ЕТ-а** (SRPS IEC 76 - 2):

**Хлађење** сувог ЕТ-а је **АН**: природним струјањем ваздуха преко спољашних површина намотаја и кроз вентилационе канале унутар намотаја и између намотаја. Ови **вентилациони канали** морају редовно да се надгледају и чисте (тачка 8), јер таложење прашине и прљавштине у њима умањује ефикасност хлађења и скраћује век трајања ЕТ-а.

Поред тога, између намотаја и пода просторије мора да се обезбеди **простор за циркулацију ваздуха** од најмање 15 cm, што се постиже уградњом точкова или подметачима.

Код коришћења заштитног кућишта, примењују се и мере из тачке 6.4.

5.8 **Степен изолације** (SRPS EN 60076-3):

Користи се једнолика изолација намотаја, тако да сви крајеви који су спојени на стезаљке имају према земљи исти подносиви напон индустријске фреквенције.

Највиши напон опреме примењен на намотаје сувог ЕТ-а (највиша вредност напона између фаза) не сме да буде мањи од вредности највишег напона мреже датих у тачки 4.1.

**Степени изолације** су:

- суви ЕТ 10 / 0,42 kV: LI 75 AC 28 / AC 3;
- суви ЕТ 20 / 0,42 kV: LI 125 AC 50 / AC 3.

Словна ознака LI означава назначени подносиви атмосферски ударни напон (темена вредност), а AC назначени подносиви наизменични напон индустријске фреквенције (ефективна вредност), при чему су одговарајуће вредности дате у киловолтима [kV].

5.9 Вредности губитака празног хода  $P_0$ , губитака због оптерећења  $P_k$  и струја празног хода  $I_0$  сувог ЕТ-а дате су у табели 5.9.

**Губици празног хода  $P_0$  [W]** односе се на назначени напон и назначену фреквенцију 50 Hz.

**Струја празног хода  $I_0$  [%]** односи се на назначени напон, назначену фреквенцију 50 Hz и главни извод. Мерење струје празног хода врши се после завршених диелектричних испитивања.

**Губици због оптерећења  $P_k$  [W]** односе се на главни извод и референтну температуру  $\theta_{ref} = 120^{\circ}\text{C}$ , SRPS EN 60076-11, & 17.

Споразумом између произвођача и наручиоца могу да се уговоре вредности губитака које су ниже у односу на дате у табели 5.9.

*Напомене: код поређења губитака због оптерећења  $P_k [W]$  стандардних конструкција сувог и уљног ЕТ-а:*

- *губитке сувог ЕТ-а сведене на референтну температуру  $\theta_{sref} = 120^\circ C$  треба поредити са губицима уљног ЕТ-а сведене на референтну температуру  $\theta_{uref} = 75^\circ C$ ;*
- *суви ЕТ има за око 15% веће вредности губитака због оптерећења  $P_k$  за исти материјал и пресек проводника намотаја због високе термичке класе изолације F ( $155^\circ C$ ) и већих радних температура намотаја.*

Табела 5.9: Губици и струје празног хода сувих ЕТ-а са заливеним алуминијумским намотајима

Снага $S_n [kVA]$	10/0,42 kV			20/0,42 kV		
	$P_0 [W]$	$P_k^* [W]$	$I_0 [\%]$	$P_0 [W]$	$P_k^* [W]$	$I_0 [\%]$
400	1150	4900	1,5	1200	5500	1,5
630	1370	7600	1,3	1650	7800	1,3
1000	2000	10000	1,2	2300	11000	1,2

\* губици због оптерећења  $P_k$  су сведени на реф. температуру  $120^\circ C$ .

#### 5.10 Терећење сувог ЕТ-а:

Смернице за **терећење природно хлађених (AN) сувих ЕТ-а** регулисане су стандардом SRPS IEC 905/1992, који упућује како треба да се терети суви ЕТ одабране термичке класе изолације да се не пређе **прихватљиво разарање изолације**, које настаје када ЕТ ради при назначеним условима и при референтној температури спољашњег ваздуха за хлађење од  $\theta_{aref} = 20^\circ C$ .

У тим условима суви ЕТ треба константно да даје назначену снагу  $S_n [kVA]$ .

**За термичку класу изолације F ( $155^\circ C$ )**, карактеристичне вредности температура најтоплије тачке намотаја су:

- $\theta_c = 145^\circ C$  - температура која одговара назначеној струји и температури спољашњег ваздуха за хлађење од  $\theta_{aref} = 20^\circ C$ ;
- $\theta_{cc} = 180^\circ C$  - највиша дозвољена температура намотаја, при константном или цикличном (дистрибутивном) оптерећењу, IEC 60076-12/2008;
- $\Delta\theta = 100 K$  - највеће средње повишење температура намотаја при назначеној струји;
- $\theta_{ref} = 120^\circ C$  - референтна температура према којој се у огледу кратког споја мере (утврђују) губици због оптерећења (табела 5.9), као и напон (импеданса) кратког споја ( $\theta_{ref} = \Delta\theta + \theta_{aref}$ ).

**5.11 Чврстоћа на кратак спој:**

- а) Суви ЕТ треба да буде конструисан и изведен тако да при кратком споју намотаји издрже динамичка и термичка напрезања према стандарду SRPS EN 60076-5/2000.
- б) Време трајања кратког споја после трајног погона износи 2 s.
- в) Није дозвољен трајан паралелан рад два ЕТ-а.  
Изузетно, дозвољен је паралелан рад два ЕТ-а у истој или суседним ТС, при манипулацијама у трајању од највише 10 минута.

**5.12 Ниво буке сувог ЕТ-а:**

Одређивање нивоа буке сувог ЕТ-а врши се према стандарду SRPS EN 60076-10/2001.

**Дозвољени ниво звучне снаге  $L_{WA}$  [dB(A)]** за суви ЕТ назначене снаге 400 kVA; 630 kVA; 1000 kVA је 68 dB(A); 70 dB(A); 72 dB(A).

Ако се суви ЕТ монтира унутар стамбене зграде, применом основних и допунских мера заштите, поглавље 12 у ТП-1а, ниво буке мора да се ограничи на 40 dB(A) дању и 30 dB(A) ноћу.

За смањење преношења вибрација на околину, испод ЕТ-а треба поставити еластичне гумене подметаче (сл.12.2.1 у ТП-1а) или специјалне подлоге против вибрација.

Сви прикључци треба да буду кабловски или треба да се уметну плетенице, што важи и за прикључак за уземљење ЕТ-а.

**5.13 Електромагнетна компатибилност (SRPS EN 60076-11, & 4.3):**

Енергетски трансформатор, укључујући и суви ЕТ, је пасиван елеменат с обзиром на зрачење електромагнетних таласа и не представља опасност за људе и околину.

**ЕТ је неосетљив на електромагнетне сметње.**

## 6 ОСНОВНЕ КОНСТРУКТИВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СУВОГ ЕТ-а

6.1 **Магнетно коло** треба да буде израђено од хладно ваљаних лимова високог магнетног пермеабилитета и ниског коефицијента хистерезиса. Тип магнетног кола, изолација лимова, начин сечења и слагања лимова оставља се на избор произвођачу ЕТ-а, са циљем изналажења оптималног решења с обзиром на захтеване вредности губитака и струје празног хода, као и нивоа буке.

Магнетно коло се заштићује од корозије премазивањем спољашњих површина епоксидном смолом или сличним материјалом, док се остали метални делови штите цинковањем и фарбањем.

6.2 **Намотаји су** начињени од **алуминијумских проводника** високе чистоте, типа фолија или трака, са изолацијом.

Дозвољено је коришћење и бакарних проводника.

**Намотај вишег (средњег) напона је заливен епоксидном масом под вакуумом**, чиме се постижу скоро **линеарна расподела напона дуж намотаја и мале вредности парцијалних пражњења**.

Дозвољено је коришћење и других напредних технологија заливања намотаја, високог квалитета и поузданости.

**Намотај нижег напона** се подвргава термичкој обради (заливање, импрегнација), која обезбеђује велику компактност намотаја и врхунске диелектричне, механичке и термичке карактеристике.

6.3 **Заштита сувог ЕТ-а од преоптерећења:**

За заштиту од недозвољених оптерећења користи се:

- **основна заштита**, тачка 6.3.1;
- **"превентивна" заштита**, тачка 6.3.2.

6.3.1 **Основна заштита је термичка заштита** чију примену и подешавање одређује произвођач сувог ЕТ-а. Заштита мери ("пресликава") температуру најтоплије тачке намотаја сувог ЕТ-а. Препоручује се коришћење једног од решења која су дата под а), б) или в):

**а) Термичка заштита** коју сачињава **термички реле** (електронски претварач) и **по два отпорна сензора (PtC сонде) за сваки намотај**.

Основна карактеристика PtC сонде је да се вредност отпорности сонде веома стрмо повећава када температура намотаја достигне одређену, од стране произвођача тачно подешену вредност, коју корисник више не може да промени. Ову наглу промену отпорности препознаје термички реле и претвара је у извршну команду за сигнализацију и/или искључење. За термичку класу изолације F (155°C), првом сондом се врши **сигнализација** (светлосна и/или звучна) када неки од намотаја достигне температуру  $\theta_s = 140^\circ\text{C}$  (приближно одговара температури намотаја при назначеној струји), док се другом сондом врши **искључење ЕТ-а** када температура намотаја достигне вредност  $\theta_i = 150^\circ\text{C}$ .

**PtC сонде** се уграђују у канале (цеви) чији положај одређује произвођач. Крајеви сонди се прикључују на **редне стезаљке** које су причвршћене за горњи део сувог ЕТ-а. На стезаљке се прикључује и

**термички реле**, који се монтира изван габарита ЕТ-а, на пример у оквиру расклопног блока НН.

- б) Термичка заштита** коју сачињава **термички реле** (дигитални термометар) и **по један отпорни сензор** (сонда) **Pt 100** за сваки **намотај**, чији се смештај и међусобно повезивање преко редних стезаљки врши слично као под а). Ово решење има предност код значајних објеката који су под непрекидним надзором и контролом.

Сензор (сонда) Pt 100 и термички реле омогућују **континуално праћење температуре** најтоплије тачке сваког намотаја, **сигнализација** се врши ако неки од намотаја достигне температуру  $\theta_s = 140^\circ\text{C}$ , док се команда за **искључење** ЕТ-а даје када температура намотаја достигне вредност  $\theta_i = 150^\circ\text{C}$ .

**Подешавање** вредности **температура**  $\theta_s$  и  $\theta_i$  на термичком релеу обавеза је корисника и услов за признавање гаранције од стране произвођача сувог ЕТ-а.

- в) Термичка заштита** коју сачињавају **по две аналогне сонде – термостати (НС)** за сваки **намотај** и **одговарајући број** извршних (помоћних) **релеа** за сигнализацију када температура намотаја достигне вредност  $\theta_s = 140^\circ\text{C}$  или искључење при  $\theta_i = 150^\circ\text{C}$ , које подешава произвођач. Смештај термостата и међусобно повезивање преко редних стезаљки врши се као под а).

- г) Термичку заштиту сувог ЕТ-а комплетно испоручује произвођач.** Суви ЕТ се испоручује са уграђеним отпорним сензорима (сондама), односно термостатима, и изведеним везама до редних стезаљки, док се термички (извршни) реле испоручује одвојено и монтира га корисник.

**6.3.2 "Превентивна" заштита** од недозвољених оптерећења, коју одређују енергетичари у ЕД ради оптималног коришћења снаге ЕТ-а, анализе губитака у дистрибутивној мрежи итд. **Састоји се од микропроцесорског бројила** које мери укупну активну снагу и енергију коју ЕТ предаје конзуму, тачка 7.2 у ТП-1а.

**6.3.3** Споразумом између произвођача сувог ЕТ-а и наручиоца може да се уговори и уградња термометра - показивача температуре средњег намотаја.

**6.4 Метално заштитно кућиште IP31** се користи ако се суви ЕТ монтира у електричну погонску просторију. Пружа ефикасну заштиту од директног додира. Израђује се од лимова, са спајањем помоћу завртњева ради лакшег приступа прикључцима ЕТ-а. Стандардна антикорозивна заштита кућишта се изводи поцинковањем или фарбањем.

**Површина и распоред вентилационих отвора на кућишту, као и одвођење топлоте преко кућишта, треба да обезбеде ефикасно хлађење ЕТ-а** без утицаја на декларисану вредност дозвољеног повишења температуре намотаја.

Најмање **удаљење заштитног кућишта од зидова просторије ТС** треба да буде 0,2 m, односно 0,5 m са СН стране ЕТ-а.

Заштитно кућиште се испоручује монтирано заједно са ЕТ-ом.

### 6.5 Извођење прикључака:

Сви прикључни каблови, односно сабирнице:

- морају да буду изведени и учвршћени тако да је онемогућено механичко напрезање прикључака ЕТ-а;
- не смеју да се воде уз или између намотаја ЕТ-а, већ применом одстојника и/или носача мора да се обезбеди растојање од најмање 120 mm, при чему прилаз спољашњих прикључних СН и НН каблова може да се изведе са горње или са доње старне.

#### а) Суви ЕТ без заштитног кућишта (IP 00):

**Прикључење на страни 10 kV (20 kV)** врши се помоћу три једножилна кабла са изолацијом од умреженог полиетилена, тип ХНЕ 49-А, директно на горње прикључке СН намотаја (спрега троугао) или преко проводног изолатора. Каблови треба да буду радионички урађени са кабловским завршницама. Прикључак на ЕТ може да буде изведен и као изоловани конектор.

**Прикључење на страни ниског напона** врши се: помоћу снопова једножилних каблова са изолацијом од умреженог полиетилена, тип ХР00, или помоћу изолованих сабирничких веза, односно помоћу префабрикованог шинског развода.

#### б) Суви ЕТ са заштитним кућиштем (IP 31):

**Препоручује се прикључење једножилних каблова 10 kV (20 kV) типа ХНЕ 49-А преко проводних изолатора на поклопцу кућишта**, применом кабловских папучица или изолованих конектора.

**Није дозвољено** да се СН каблови воде са унутрашње стране, између кућишта и намотаја, и директно прикључују на горње прикључке СН намотаја.

**Прикључење на страни ниског напона** врши се као под а).

6.6 **Натписна плочица** се изводи према стандарду SRPS EN 60076-11/2004, & 9. Плочица се поставља на видно место сувог ЕТ-а, а натписи треба да буду прегледни и трајни (нпр. изведени гравирањем или жигосањем).

**Натписна плочица садржи:** врсту сувог ЕТ-а, назив стандарда и годину његовог издавања, име произвођача, фабрички број, годину производње, број фаза, назначене вредности: напона, струја, снаге и фреквенције, ознаку спреге, напон кратког споја, степене изолација, врсту хлађења, термичку класу изолације, климатску класу и пожарну класу, укупну масу и масу заштитног кућишта ако постоји.

### 6.7 Пренос и вуча сувог ЕТ-а:

**Подизање** сувог ЕТ-а треба да буде могуће:

- **краном:** помоћу 4 ушице ако је ЕТ без кућишта (IP00), односно помоћу 2 ушице ако се подиже ЕТ заједно са кућиштем (IP31);
- **виљушкар**ом одговарајуће носивости: помоћу виљушке која се убацује у канал основе, уз претходно скидање точкова.

**Вуча** сувог ЕТ-а, са или без кућишта, врши се помоћу точкова и 4 отвора на доњој основи. Вуча се врши паралелно са осом основе или нормално на осу основе.



**Пречник точка** сувог ЕТ-а износи 125 mm.

**Размак точкова** сувог ЕТ-а износи:

- 670 mm за назначену снагу 400 kVA и 630 kVA, и
- 820 mm за назначену снагу 1000 kVA.

## 7 ИСПИТИВАЊА СУВОГ ЕТ-а

**7.1 Испитивања новог сувог ЕТ-а врше се као рутинска испитивања, испитивања типа и специјална испитивања.** Испитивања се врше код произвођача или у некој признатој лабораторији.

Мерење активне отпорности намотаја (тачка 7.6), као и диелектрична испитивања изолације намотаја (тачка 7.8), врше се при "хладном" намотају (неоптерећен ЕТ).

Мерења температуре намотаја врше се на репрезентативном месту (на пример: у каналу између намотаја СН и НН).

**7.2 Рутинска (комадна) испитивања** су испитивања која се врше на сваком поједином трансформатору (SRPS EN 60076-11) и обухватају:

- мерење отпорности намотаја, тачка 7.6;
- мерење односа трансформације и проверавање спреге;
- мерење струје празног хода и губитака празног хода;
- мерење губитака због оптерећења и напона (импедансе) кратког споја, тачка 7.7;
- рутинска диелектрична испитивања: страним напоном индустријске фреквенције и индукованим напоном, тачка 7.8;
- мерење парцијалних пражњења, тачка 7.9.

**7.3 Испитивања типа** су испитивања које врши произвођач на једном трансформатору, као представнику других истих или сличних трансформатора. У испитивања типа спадају:

- мерење пораста температуре према стандарду SRPS EN 60076-2;
- испитивање атмосферским ударним напоном према стандарду SRPS EN 60076-3, тачка 7.10.

**7.4 Специјална испитивања** су ствар посебног договора корисника и произвођача, и врше се само ако се посебно уговоре.

У специјална испитивања спадају, на пример:

- испитивање понашања у случају пожара, тачка 7.11;
- климатска испитивања према стандарду SRPS IEC 60076-1, &13.1 за класу С1 (Ц1) за климатске услове;
- мерење нивоа буке према стандарду SRPS EN 60076-10;
- испитивање издржљивости на кратак спој према стандарду SRPS EN 60076-5.

**7.5 Испитивање типа и специјална испитивања** набројана у тачкама 7.3 и 7.4 по правилу **се не врше ако произвођач сувог ЕТ-а приложи сертификате и атесте о овим испитивањима** извршеним на представнику тог типа, тачка 9.1.

7.6 **Активна отпорност намотаја  $R_1$  [ $\Omega$ ]** мери се једносмерном струјом у безнапонском стању ЕТ-а, при измереној температури намотаја  $\theta_1$ .

7.7 **Губици због оптерећења ЕТ-а и напон (импеданса) кратког споја** мере се у огледу кратког споја: на прикључке једног намотаја подеси се напон тако да кроз те прикључке протекне назначена струја  $I_n$  [A] тог намотаја, док су прикључци другог намотаја кратко спојени.

**Отпорност  $R_2$** , помоћу које се рачунају "омски" губици  $R_2 \cdot I_n^2$  због оптерећења и која одговара температури намотаја  $\theta_2$  која је измерена у огледу кратког споја, као и отпорност  $R_{ref}$  која одговара референтној температури намотаја  $\theta_{ref} = 120^\circ\text{C}$  за одабрану термичку класу изолације F ( $155^\circ\text{C}$ ), **за алуминијумски намотај** се добијају свођењем помоћу израза:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}, \text{ односно: } R_{ref} = R_1 \cdot \frac{345}{225 + \theta_1}$$

где је  $R_1$  [ $\Omega$ ] вредност отпорности намотаја измерена према тачки 7.6.

7.8 **Рутинско диелектрично испитивање** изолације има за циљ проверавање отпорности намотаја на наизменични напон и врши се према стандарду SRPS EN 60076-3. Састоји се од испитивања страним напоном и испитивања индукованим напоном.

**Испитивање страним напоном** (провера изолације према другим намотајима и према маси) врши се једнофазним наизменичним напоном фреквенције 50 Hz који се прикључује између стезаљки испитиваног намотаја и стезаљки свих осталих намотаја спојених међусобно и са масом (уземљењем). Вредност испитног напона мора да одговара ефективним вредностима датим у тачки 5.8: 28 kV за ЕТ 10/0,42 kV и 50 kV за ЕТ 20/0,42 kV. Трајање испитивања је 60 s.

**Испитивање индукованим напоном** (провера изолације навојака дуж намотаја) врши се трофазним наизменичним напоном испитне фреквенције:  $50 \text{ Hz} < f_i \leq 400 \text{ Hz}$ .

Вредност испитног напона мора да одговара двострукој вредности назначеног напона: 20 kV за ЕТ 10/0,42 kV и 40 kV за ЕТ 20/0,42 kV.

Трајање испитивања  $t_i$  [s] индукованим напоном износи:

- $t_i = 60 \text{ s}$  ако испитна фреквенција  $f_i$  не прелази 100 Hz, и
- $t_i = 120 \cdot (50 / f_i)$  ако испитна фреквенција  $f_i$  прелази 100 Hz, на пример: за  $f_i = 400 \text{ Hz}$  трајање испитивања износи  $t_i = 15 \text{ s}$ .

7.9 **Мерење нивоа парцијалних пражњења је рутинско испитивање за суви ЕТ.** Врши се после завршених диелектричних испитивања, али се обавезно понавља и ако је корисник са произвођачем уговорио специјално испитивање издржљивости на кратак спој (SRPS EN 60076-11, & 22 и слике 2 и 3, односно & 25). На НН намотаје се прикључује трофазни извор напајања. Испитни напон мора да има приближно синусоидални облик и фреквенцију већу од 50 Hz. Мерење се врши са две вредности испитног напона:  $1,8 \cdot U_n$  у трајању од 30 s, а наставља се са напоном  $1,3 \cdot U_n$  у трајању од 180 s, где је  $U_n$  назначена вредност међуфазног испитног напона:  $U_n = 0,42 \text{ kV}$ .

**Максимално дозвољени ниво парцијалних пражњења је 10 pC.**

7.10 **Испитивање атмосферским ударним напонам** спада у испитивање типа сувог ЕТ-а, према стандарду SRPS EN 60076-3, & 13.

Испитни напон је негативног поларитета, чије су темене вредности пуног ударног напона дате у тачки 5.8: 75 kV за ЕТ 10/0,42 kV и 125 kV за ЕТ 20/0,42 kV.

Облик импулсног таласа је:  $(1,2 \mu s \pm 30\%) / (50 \mu s \pm 20\%)$ .

Редослед испитивања за сваку линијску стезаљку обухвата један референтни удар напона између 50% и 75% пуног испитног напона, а затим три удара пуног испитног напона.

7.11 **Испитивање понашања сувог ЕТ-а у случају пожара** се састоји од испитивања узорка изолационог материјала и испитивања на понашање у случају пожара.

**Испитивање узорка изолационог материјала (смоле)** врши специјализована независна лабораторија. Испитни узорак се подвргава температури до 800°C, и разлагањем продуката мора да се докаже да је присуство опасних материја (HCl, HF, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> итд.) минимално или га нема, а могућност испуштања густог дима занемарљива.

**Испитивање на понашање у случају пожара** врши се за класу F1, & 13.3, & 28 и слике 7 и 8 стандарда SRPS EN 60076-11/2004.

**Испитни модел** који репрезентује једну комплетну фазу (стуб) сувог ЕТ-а: СН намотај, НН намотај и језгро, ставља се у специјалну испитну комору (IEC 60332-3-10) и подвргава пожару паљењем алкохола који се налази у посуди испод модела, уз једновремено укључење и грејне плоче снаге 24 kW постављене на око 18 cm наспрам модела. Укупно **време испитивања** износи 60 минута: 20 минута траје сагоревање алкохола, грејач је укључен укупно око 40 минута, а преосталих 20 минута се прати понашање модела након искључења спољашњих извора топлоте. **Пораст температура**, које се мере сензорима који се налазе између модела и грејача, не смеју да пређу вредности: 420 K у току почетних 20 минута, 140 K на 5 минута након искључења грејача и 80 K на крају укупног испитивања. Испитивање треба да докаже и да нису присутне опасне материје.

## 8 ОДРЖАВАЊЕ СУВОГ ЕТ-а

Суви ЕТ може да се сврста у категорију опреме која **се одржава по потреби - "опрема без одржавања"**.

Међутим, у зависности од услова околине **треба** повремено, а **најмање једанпут годишње, извршити** визуелни преглед сувог ЕТ-а и кућишта (ако постоји), спојних веза и прикључака, отвора за вентилацију итд., као и **чишћење прашине** усисивачем, односно **компримованим ваздухом или азотом тешко доступних места**. У случају таложења масне прашине на епоксидну смолу намотаја, за чишћење треба употребити препоручена средства за хладно одмашћивање.

## 9 ДОКУМЕНТАЦИЈА

### 9.1 Произвођач је обавезан да уз сваки суви ЕТ достави следећу документацију:

- испитне листове и атесте о рутинском испитивању (тачка 7.2);
- *на увид*: сертификате о испитивањима типа (тачка 7.3);
- *на увид*: сертификате о испитивањима понашања у случају пожара за класу F1 и за климатске услове за класу C1 (Ц1);
- *на увид*: сертификат о дозвољеном нивоу звучне снаге;
- фабричке атесте уграђеног материјала (квалитет лимова за језгро, квалитет проводника и изолације за намотаје итд.), опреме и прибора;
- цртеже са изгледом и главним мерама сувог ЕТ-а, распоредом опреме и прибора, као и тежину сувог ЕТ-а, са или без кућишта;
- упутство за монтажу, руковање, одржавање и погон сувог ЕТ-а.

### 9.2 Главне мере, изглед сувог ЕТ-а, тип и распоред опреме, конструкција заштитног кућишта (ако се користи), тачке вешања, начин прикључења каблова или сабирница и прибора, не могу да се мењају без сагласности корисника.

**Додатак 2 ТП-1: ПРИЛОГ****ОСНОВНЕ ТЕХНИЧКЕ ПРЕПОРУКЕ  
ЗА КОРИШЋЕЊЕ СУВОГ ЕТ-а У ВИСОКИМ ОБЈЕКТИМА**

1 У ТС 10(20)/0,4 kV високог објекта, тачка 2.7, користе се искључиво суви ЕТ, док примена уљних ЕТ-а није дозвољена.

2 Суви ЕТ назначене снаге 400 kVA, 630 kVA или 1000 kVA и целокупна опрема ТС 10(20)/0,4 kV монтира се у заједничку затворену електричну погонску просторију која се налази у нивоу или испод нивоа терена, као и на спрату високог објекта.

Назначена снага сувог ЕТ-а бира се тако да у нормалном погону напаја искључиво потрошаче у високом објекту.

3 Локација просторије у коју се монтира ТС треба да буде одабрана тако:

- да је обезбеђено хлађење ЕТ-а природним струјањем ваздуха (АН), а ваздух мора да излази непосредно напоље, при чему се прорачун хлађења и решење вентилације врши посебно за сваку ТС;
- да је онемогућен негативан утицај ТС на околину, а пре свега да је изведена ефикасна заштита од пожара и од буке;
- да кроз просторију не пролазе инсталације водовода, канализације, топловода, гаса итд.;
- да не постоји опасност од површинских или подземних вода;
- код локације на спрату: да је омогућен вертикални транспорт ЕТ-а и опреме.

4 За заштиту од пожара у ТС 10(20)/0,4 kV у високом објекту примењују се одредбе домаћих прописа из тачке 3.3.а ове препоруке, уз уважавање чињенице да се у такве ТС уграђују искључиво суви ЕТ-и.

Цитирани прописи за заштиту од пожара третирају само примену уљних ЕТ-а и друге опреме која се користи у ТС и садрже запаљиве течности (уље), или се то подразумева, док не обрађују примену савремених конструкција сувих ЕТ-а. Зато се у овој препоруци, у недостатку домаћих прописа, заштита од пожара за ТС 10(20)/0,4 kV у коју се уграђује суви ЕТ решава према захтевима светски признатих стандарда (на пример: National Electricity Safety Code C2-2001 (IEEE)).

5 Основна стратегија заштите од пожара у ТС 10(20)/0,4 kV која се налази у високом објекту састоји се од превентивне заштите од настанка пожара и од мера заштите од ширења пожара.

Избором опреме у ТС и применом мера заштите од настанка и ширења пожара, које су прецизиране у овој тачки под а) и под б), просторија у коју се монтира ТС се третира као саставни део противпожарног сектора високог објекта (приземље, спрат итд.).

а) Превентивна заштита од настанка пожара:

- примена сувог ЕТ-а, који не може да буде узрочник почетног пожара нити преносник пожара и не садржи опасне материје, што

се потврђује сертификатом за **испитивање узорка изолационог материјала и испитивања на понашање у случају пожара за класу F1, & 13.3 и & 28 стандарда SRPS EN 60076-11/2004**, тачка 7.11 ове препоруке;

- **примена заштитних уређаја и других мера заштите** којим се суви ЕТ и опрема у ТС ефикасно штите:
  - **од кратких спојева**: помоћу високонапонских високоучинских (ВВ) осигурача у СН трафо пољу, тачка 8.1.1 у ТП-1а/2000;
  - **од преоптерећења ЕТ-а**: помоћу ефикасне термичке заштите, тачка 6.3 ове препоруке;
  - **од земљоспојева у СН мрежи**: помоћу земљоспојне заштите која сваки земљоспој искључује најкасније за 3 s (ТП-4а1/2001);
  - **од пренапона**: нема опасних пренапона јер **високи објекат има громобранску инсталацију чији прихватни систем се преко спусних проводника и земљовода директно прикључује на темељни уземљивач**, који је и елеменат здруженог уземљења ТС 10(20)/0,4 kV (ТП-5/1997), а **ТС увек ради у кабловској СН и НН мрежи**.

**б) Основне мере заштите од ширења пожара:**

- **коришћење опреме и материјала у ТС који не могу да горе сами од себе**, у које, поред сувог ЕТ-а, спадају:
    - префабриковани СН расклопни блок у коме се као медијум за изолацију расклопних апарата и прекидање електричног лука користи гас SF<sub>6</sub> или вакуум;
    - префабриковани НН расклопни блок у коме се користе склопке растављачи са НВ осигурачима;
    - изоловане сабирничке везе, односно префабриковани НН шински развод;
  - врата ТС треба да буду метална, а зидови треба да буду отпорни према пожару у трајању од два сата;
  - треба да се изврши противпожарно заптивање на месту увода прикључних каблова у просторију ТС, на пример: затварањем канала песком или неким другим негоривим материјалима, премазивањем каблова ватроотпорним материјалима итд.
- 6 За заштиту од буке и вибрација које потичу од сувог ЕТ-а, у ТС 10(20)/0,4 kV високог објекта се примењују мере заштите предвиђене тачком 5.12 ове препоруке.
- 7 Суви ЕТ је пасиван елеменат с обзиром на зрачење електромагнетних таласа (SRPS EN 60076-11, & 4.3) и не представља опасност за људе и околину.

Прилог обрадили:

**М. Главоњић, М. Кировић и Т. Бојковић**

**Литература:**

- 1 *Српски, важећи југословенски, европски и интернационални стандарди набројани у тачки 3.3.б ове препоруке.*
- 2 *Техничке препоруке ЕД Србије: "ТП-1а", март 2000., "Додатак ТП-1", март 1997.*
- 3 *Проспекти реномираних европских произвођача сувих ЕТ-а.*

**САДРЖАЈ**

Ред. број		Стр.
1	Опсег важења и намена препоруке	1
2	Термини и дефиниције	3
3	Основни захтеви	4
4	Основни погонски и амбијентни услови	5
5	Основне техничке карактеристике сувог ЕТ-а	6
6	Основне конструктивне карактеристике сувог ЕТ-а	10
7	Испитивање сувог ЕТ-а	13
8	Одржавање сувог ЕТ-а	16
9	Документација	
10	Прилог: Основне техничке препоруке за коришћење сувог ЕТ-а у високим објектима	17
11	Литература	19