




## Примена мера за смањење нивоа магнетске индукције у стану изнад трансформаторске станице напонског нивоа 10/0,4 kV

Маја Грбић<sup>1</sup> , Александар Павловић<sup>1</sup> , Дејан Хрвић<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Универзитет у Београду, Електротехнички институт Никола Тесла, Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија

[maja.grbic@ieent.org](mailto:maja.grbic@ieent.org)

**Кратак садржај:** У раду су анализирани нивои магнетске индукције у стану који се налази изнад дистрибутивне трансформаторске станице напонског нивоа 10/0,4 kV. Приликом првог испитивања магнетског поља закључено је да би се у случају оптерећења трансформатора назначеном струјом у стану јавиле повишене вредности магнетске индукције. Доминантне изворе магнетског поља у стану представљале су шинске везе и кабловски водови који повезују трансформаторе и развод напонског нивоа 0,4 kV. Због тога је предложена примена мера за смањење нивоа магнетске индукције које су у раду детаљно описане. Након спровођења предложених мера испитивања нивоа магнетске индукције у стану су поновљена. У раду су приказани резултати испитивања нивоа магнетске индукције пре и након примене мера заштите и дат је закључак у погледу ефикасности предузетих мера и усаглашености нивоа магнетске индукције са границом излагања становништва која је прописана важећом националном регулативом.

**Кључне речи:** трансформаторска станица, магнетско поље, нејонизујуће зрачење, електромагнетско поље, зона повећане осетљивости.

### 1. Увод

Заштита становништва од нејонизујућег зрачења правно је регулисана у Републици Србији 2009. године, усвајањем Закона о заштити од нејонизујућих зрачења [1] и шест пратећих правилника [2]–[7].

Правилником [2] утврђен је референтни гранични ниво излагања који за магнетску индукцију индустријске учестаности (50 Hz) у зонама повећане осетљивости износи 40  $\mu\text{T}$ .

Према [2] и [3] зоне повећане осетљивости су „подручја стамбених зона у којима се особе могу задржавати и 24 сата дневно; школе, домови, предшколске установе, породилишта, болнице, туристички објекти, те дечја игралишта; површине неизграђених парцела намењених, према урбанистичком плану, за наведене намене, у складу са препорукама Светске здравствене организације”. Правилник [3] дефинише и појам извора нејонизујућег зрачења од посебног интереса. Према члану 3 Правилника [3] изворима од посебног интереса сматрају се извори чије електромагнетско поље у зони повећане осетљивости достиже најмање 10% износа референтне, граничне вредности прописане за ту фреквенцију. У случају магнетске индукције индустријске учестаности 10% референтне граничне вредности износи 4  $\mu\text{T}$ .

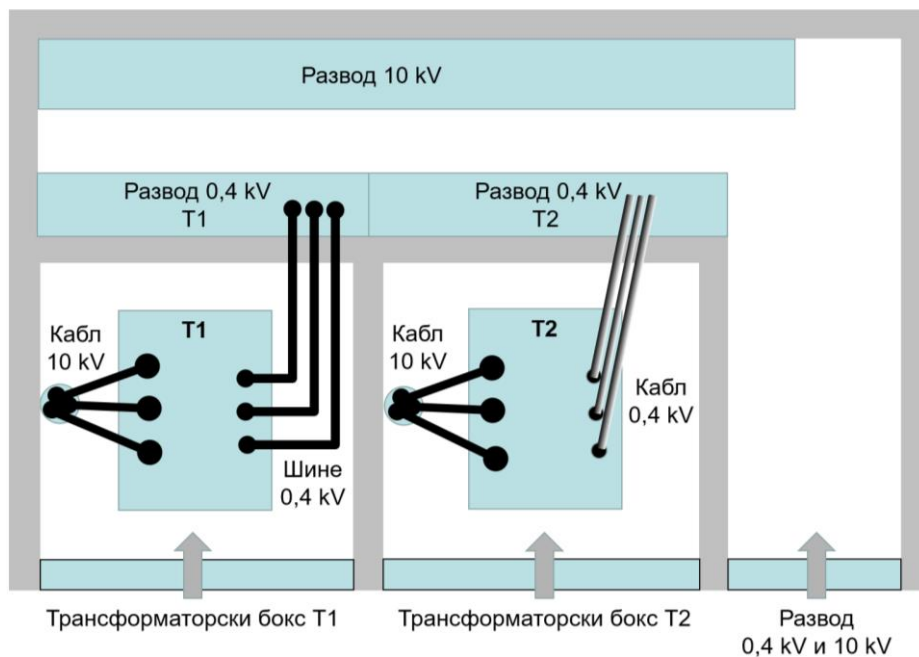
Резултати истраживања која се односе на трансформаторске станице напонских нивоа 10/0,4 kV и 20/0,4 kV приказани су у [8]–[10]. Закључено је да нивои магнетске индукције у зонама повећане осетљивости које се налазе у непосредној близини трансформаторских станица 10/0,4 kV и 20/0,4 kV у неким случајевима могу прекорачити референтни ниво од 40  $\mu\text{T}$ , као и да у највећем броју случајева могу прекорачити ниво од 4  $\mu\text{T}$ . Овај закључак се првенствено односи на најнеповољнију ситуацију са аспекта изложености магнетском пољу, а то је ситуација када се трансформаторска станица налази у згради, а непосредно поред или изнад ње је зона повећане осетљивости. У оваквим случајевима ниво магнетске индукције у зони повећане осетљивости примарно зависи од распореда опреме у трансформаторској станици, и то првенствено од положаја шина које повезују трансформатор и развод напонског нивоа 0,4 kV, али и од снаге трансформатора, тј. од његове назначене струје. Досадашња испитивања су показала да трансформаторске станице код којих се шинске везе напонског нивоа 0,4 kV налазе непосредно уз плафон или зид трансформаторске станице представљају најнеповољнију конфигурацију са аспекта изложености магнетском пољу, уколико се са друге стране зида, односно плафона, налази зона повећане осетљивости. Неповољну околност у већини случајева представља близина трансформаторских станица зонама повећане осетљивости.

## **2. Извор магнетског поља**

Извор магнетске индукције у стану у коме су спроведена испитивања представља дистрибутивна трансформаторска станица напонског нивоа 10/0,4 kV која се налази у приземљу зграде непосредно испод стана, на истој вертикали. Распоред опреме у трансформаторској станици

приказан је на слици 1. Трансформаторску станицу чине три просторије: трансформаторски бокс Т1 (слика 2), трансформаторски бокс Т2 (слика 2) и просторија са разводима напонских нивоа 0,4 kV и 10 kV (слика 3). Енергетски трансформатор Т1 је повезан шинама са разводом напонског нивоа 0,4 kV и каблом са разводом напонског нивоа 10 kV. Енергетски трансформатор Т2 је повезан кабловима са разводима напонских нивоа 0,4 kV и 10 kV. Назначена снага оба трансформатора износи 630 kVA, а њихова назначена струја на напонском нивоу 0,4 kV износи 910 А.

Доминантне изворе магнетске индукције у стану представљају шинске везе напонског нивоа 0,4 kV које повезују трансформатор Т1 и развод 0,4 kV и кабловске везе напонског нивоа 0,4 kV које повезују трансформатор Т2 и развод 0,4 kV, које се налазе у непосредној близини плафона трансформаторске станице, тј. непосредно испод пода стана.



Слика 1. Распоред опреме у трансформаторској станици



*Слика 2. Просторије са трансформаторима Т1 (лево) и Т2 (десно)*

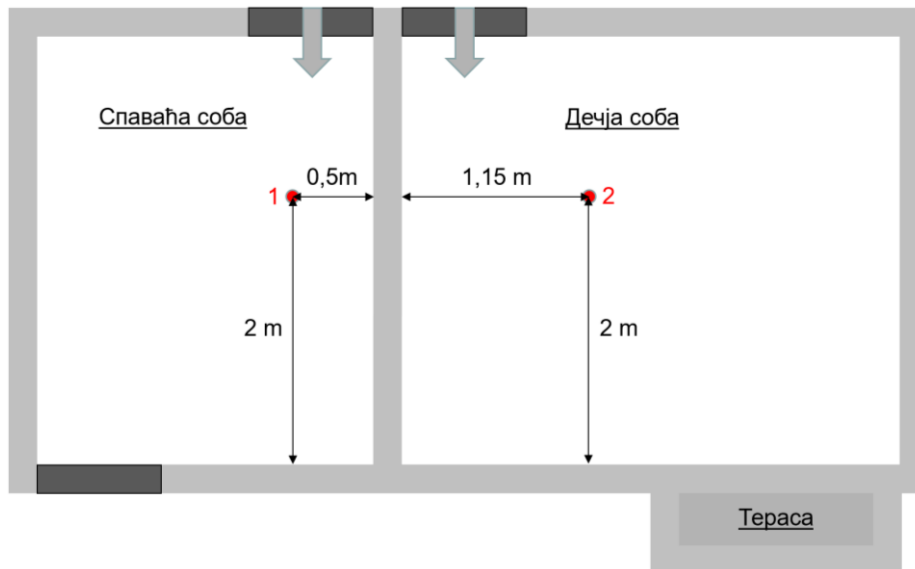


*Слика 3. Просторија са разводима напонских нивоа 0,4 kV и 10 kV*

### 3. Испитивања пре примене мера заштите

За процену изложености људи од интереса је највећа могућа изложеност особе која борави у зони повећане осетљивости, а која је истовремено и зона утицаја извора нејонизујућег зрачења. Пошто је теоријски познато да су у оваквим случајевима вредности електричног поља занемарљиве, спроведено је само мерење магнетске индукције [11]–[14]. За мерење је коришћен анализатор електромагнетског поља EFA-300, произвођача *Narda Safety Test Solutions*, кога чине детектор и мерна сонда. Грешка коришћеног мерног система, која је декларисана од стране произвођача и потврђена еталонирањем, износи 3%.

Прелиминарно мерење магнетске индукције спроведено је на великом броју мерних места у стану да би се одредиле зоне у којима се јављају највеће вредности магнетске индукције [15]. На тај начин су изабрана репрезентативна мерна места 1 и 2, на којима су измерене највеће вредности магнетске индукције (слика 4). Пошто су просторије у којима се налазе мерна места 1 и 2 намењене за спавање, на овим мерним местима је примењена стандардизована метода мерења у пет тачака, која је описана у стандарду [14]. Мерење у пет тачака се спроводи на висини 0,2 m од пода просторије. Од 5 измерених вредности бирају се три највеће и рачуна се њихова средња вредност ( $B_{sr}$ ).



Слика 4. Положај мерних места у стану

Пошто је магнетско поље сразмерно струји, током мерења магнетске индукције у стану мерене су и струје оптерећења трансформатора Т1 и Т2 и то у фазама које су на почетку мерења биле највише оптерећене.

Вредности струја оптерећења трансформатора Т1 мерене су у фазама R и T, док су вредности струја оптерећења трансформатора Т2 мерене у фазама S и T, током целокупног времена трајања мерења магнетске индукције. Вредности струја су мерене на напонском нивоу 0,4 kV.

Резултати мерења дати су у табели 1. Приликом свих мерења измерена је фреквенција магнетског поља од 50 Hz. Ознаке у табели 1 имају следеће значење:

$n$  – редни број мерења на изабраном мерном месту;

$I_R, I_S, I_T$  – измерене вредности фазних струја трансформатора;

$B$  – измерена вредност магнетске индукције;

$B_{sr}$  – средња вредност магнетске индукције израчуната по методи мерења у пет тачака;

$h$  – висина на којој је извршено мерење.

Табела 1. Резултати мерења пре примене мера заштите

Мерно место	$n$	$B$ [ $\mu T$ ]	Т1		Т2		$h$ [m]	$B_{sr}$ [ $\mu T$ ]
			$I_R$ [A]	$I_T$ [A]	$I_S$ [A]	$I_T$ [A]		
1	1	1,22	69,7	71,9	121,7	92,1	0,2	<b>1,25</b>
	2	1,33	69,2	71,9	124,7	93,4		
	3	1,05	69,2	71,9	125,8	92,0		
	4	1,15	69,5	74,4	123,9	92,7		
	5	1,19	69,1	75,2	121,5	92,7		
2	1	2,00	82,2	70,8	100,1	102,8	0,2	<b>1,98</b>
	2	1,48	86,4	71,2	96,0	103,1		
	3	1,41	82,4	70,9	96,0	115,3		
	4	2,19	82,4	70,9	95,8	115,2		
	5	1,74	82,6	71,6	97,1	116,8		

На основу измерених вредности струја може се закључити да се оптерећење трансформатора Т1 у току испитивања кретало од 7,6% до 9,5%, док се оптерећење трансформатора Т2 налазило у опсегу од 10,1% до 13,8% од назначеног оптерећења.

Иако су измерене вредности магнетске индукције биле ниже од 4  $\mu T$ , због ниског оптерећења оба трансформатора, потребно је уважити и повећање вредности магнетске индукције у стану које би се јавило при већем оптерећењу трансформатора.

На мерном месту 1 доминантан је утицај трансформатора Т1, док је на мерном месту 2 доминантан утицај трансформатора Т2. На мерном месту 2 измерене су веће вредности магнетске индукције, пошто су струје оптерећења трансформатора Т2 у време мерења биле веће у односу на струје оптерећења трансформатора Т1. На мерном месту 2 вредност  $B_{sr}$  износи 1,98  $\mu T$ . Струје оптерећења трансформатора Т2 у

време овог мерења налазиле су се у опсегу од 95,8 А до 116,8 А. Пошто назначена струја трансформатора износи 910 А, може се проценити да би при назначеној струји трансформатора вредност магнетске индукције износила приближно око 18  $\mu\text{T}$ .

#### 4. Примена мера заштите

У циљу смањења вредности магнетске индукције у предметном стану примењене су техничке мере које су описане у наставку [16].

**T1:** Шински развод који повезује трансформатор T1 и развод 0,4 kV је демонтиран и замењен кабловским водовима (слика 5). Каблови су постављени по поду трансформаторског бокса T1.

**T2:** Трансформатор T2 и развод 0,4 kV су већ били повезани кабловским водовима, али су се ови каблови налазили у непосредној близини плафона трансформаторске станице. Кабловски водови су постављени по поду просторије трансформаторског бокса T2, да би се налазили на што већем растојању од стана (слика 5).



Слика 5. Просторије са трансформаторима T1 (лево) и T2 (десно)

Приликом спровођења предложених мера заштите обезбеђено је да се каблови целом својом дужином простиру по поду просторије, изузев на месту њиховог увођења у развод 0,4 kV и на месту прикључења на трансформатор (слике 5 и 6). На овим местима повезивање је изведено на најмањој могућој висини од пода. Пошто се трансформатори T1 и T2 и развод налазе у различитим просторијама, каблови су спроведени кроз отворе који су направљени у преградном зиду непосредно изнад пода.



Слика 3. Просторија са разводима напонских нивоа 0,4 kV и 10 kV

## 5. Испитивања након примене мера заштите

Након спровођења описаних мера испитивање магнетске индукције у стану је поновљено [17].

Прелиминарно мерење магнетске индукције је спроведено у целом стану, у свим просторијама, на висини од 1 m, а измерене вредности су се налазиле у опсегу од 0,1  $\mu\text{T}$  до 0,2  $\mu\text{T}$ . Детаљна мерења су спроведена на репрезентативним мерним местима 1 и 2, на којима су измерене највеће вредности магнетске индукције у стану. Пошто се конфигурација извора магнетског поља променила, положај мерних места 1 и 2 се разликује у односу на случај пре примене мера, при чему је једина разлика што се мерна места уместо на растојању од 2 m од зида сада налазе на растојању од 2,5 m. Пошто су обе просторије намењене за спавање, мерења су осим на висини од 1 m спроведена и на висини од 0,2 m од пода просторија.

Резултати мерења магнетске индукције у стану дати су у табели 2. На сваком мерном месту је измерено по 40 вредности магнетске индукције са временским интервалом између два узастопна мерења од 5 секунди. Као резултат мерења у табели 2 приказана је средња вредност ових 40 резултата ( $B_{sr}$ ). Такође су приказане и средње вредности струја оптерећења трансформатора у овом временском интервалу. Тренутне вредности струја оптерећења трансформатора Т1 су мерене у фазама S и T, док су тренутне вредности струја оптерећења трансформатора Т2 мерене у фазама R и T, током целокупног времена трајања мерења



магнетске индукције у стану. Мерења струја у вршена у фазама које су на почетку мерења биле највише оптерећене. Вредности струја су измерене на напонском нивоу 0,4 kV.

Табела 2. Резултати мерења након примене мера заштите

Мерно место	$B_{sr}$ [ $\mu$ T]	$h$ [m]	Т1		Т2	
			$I_S$ [A]	$I_T$ [A]	$I_R$ [A]	$I_T$ [A]
1	0,372	0,2	53,8	67,9	97,9	109,5
1	0,226	1	62,9	80,5	116,5	107,3
2	0,352	0,2	52,0	58,6	106,7	99,0
2	0,170	1	57,9	57,6	104,5	102,4

На основу резултата приказаних у табели 2 може се проценити да би при назначеној струји трансформатора од 910 А, вредност магнетске индукције на висини од 0,2 m на мерном месту 1 износила приближно око 5  $\mu$ T, а на мерном месту 2 око 3  $\mu$ T. На основу добијених резултата закључује се да су вредности магнетске индукције неколико пута ниже него пре примене мера заштите.

## 6. Закључак

У раду су описане мере које су примењене у циљу смањења нивоа магнетске индукције у стану који се налази изнад дистрибутивне трансформаторске станице напонског нивоа 10/0,4 kV. Мере се састоје од замене постојећих шинских веза напонског нивоа 0,4 kV трансформатора Т1 кабловским водовима, као и повећања растојања између кабловских веза 0,4 kV трансформатора Т1 и Т2 и плафона, тј. њихово удаљавање од стана.

Ефикасност примењених мера потврђена је испитивањима која су спроведена након примене мера и упоређивањем резултата испитивања пре и после примене мера. Примењене мере за смањење нивоа магнетске индукције које емитује предметна трансформаторска станица биле су ефикасне, па је ниво магнетске индукције у стану смањен неколико пута у односу на ниво пре примене мера.

Закључује се да ће вредности магнетске индукције у стану бити знатно ниже од референтног граничног нивоа од 40  $\mu$ T, чак и у случају када би оба трансформатора била оптерећена назначеном струјом.

## Литература

- [1] Закон о заштити од нејонизујућих зрачења, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 36/09 од 15. 5. 2009.
- [2] Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [3] Правилник о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [4] Правилник о садржини евиденције о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [5] Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове испитивања нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [6] Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове систематског испитивања нивоа нејонизујућих зрачења, као и начин и методе систематског испитивања у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [7] Правилник о садржини и изгледу обрасца извештаја о систематском испитивању нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [8] Студија Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 311201: „Електрична и магнетна поља у и ван објеката ЕДБ д.о.о. Београд”, 2011. година, наручилац: ПД за дистрибуцију електричне енергије „Електродистрибуција Београд” д.о.о.
- [9] Студија Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 311206: „Студија значаја постојећих извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у ЈП Електропривреда Србије”, 2011–2012. година, наручилац: ЈП „Електропривреда Србије”.
- [10] Маја Грбић, Александар Павловић, Дејан Хрвић, Момчило Петровић: „Нивои магнетске индукције у зонама повећане осетљивости у околини трансформаторских станица напонског нивоа 10/0,4 kV и 20/0,4 kV”, *XI саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије* са регионалним учешћем, Национални комитет CIGRE Србија, Копаоник, Република Србија, 24–28. 9. 2018. године, Зборник радова, Р-1.26, СТК 1 – Компоненте мрежа.
- [11] *Основни стандард за процедуре мерења и прорачуна изложености људи електричним, магнетским и електромагнетским пољима (од 0 Hz до 300 GHz)*, SRPS EN 50413:2020.

- [12] *Мерење једносмерних магнетских, наизменичних магнетских и наизменичних електричних поља у опсегу од 1 Hz до 100 kHz у погледу изложености људи – Део 1: Захтеви за мерне инструменте*, SRPS EN 61786-1:2014.
- [13] *Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 2: Basic standard for measurements*, IEC 61786-2:2014.
- [14] *Нивои електричних и магнетских поља која стварају системи за напајање наизменичном струјом – Поступци мерења у погледу опште изложености и измена* SRPS EN 62110:2011, SRPS EN 62110:2011/AC:2015.
- [15] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 321296-Л, 2021. година, наручилац: Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд.
- [16] Елаборат Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 321517, 2022. година, наручилац: Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд.
- [17] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 322320-Л, 2022. година, наручилац: Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд.

**Abstract.** The paper analyzes the levels of magnetic flux density in the apartment located above the 10/0.4 kV distribution transformer station. During the first magnetic field testing, it was concluded that in the case of the rated load of the transformers, increased values of magnetic flux density would occur in the apartment. The main sources of magnetic field in the apartment were the busbars and cable lines connecting the transformers and the 0.4 kV distribution cabinets. For that reason it is proposed to apply measures to reduce the levels of magnetic flux density, which are described in detail in the paper. After implementing the proposed measures, magnetic field testing in the apartment was repeated. The paper presents magnetic field testing results before and after the application of the measures and gives a conclusion regarding the effectiveness of the applied measures as well as regarding the compliance of the levels of magnetic flux density with the exposure limit prescribed by the current national regulations.

**Keywords:** transformer station, magnetic field, non-ionizing radiation, electromagnetic field, area of increased sensitivity.

# **Application of Measures for Reduction of Magnetic Flux Density Levels in the Apartment Located Above the 10/0.4 Kv Transformer Station**

Maja Grbić, Aleksandar Pavlović, Dejan Hrvic

Rad primljen u uredništvo: 05.12.2022. godine.

Rad prihvaćen: 26.12.2022. godine.