

Експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење магнетске индукције индустријске учестаности

Јован Нахман¹, Драгутин Саламон², Маја Грбић³

¹ Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73,
11000 Београд, Србија
j.nahman@beotel.net

² Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73,
11000 Београд, Србија
salamon@etf.rs

³ Електротехнички институт Никола Тесла, Универзитет у Београду
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија
maja.grbic@ieent.org

Кратак садржај: У раду су описана експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење нивоа магнетске индукције индустријске учестаности. Циљ ових истраживања је експериментално одређивање материјала који се могу користити за смањење магнетске индукције у случају када је премашен референтни гранични ниво. На основу резултата мерења је за све испитиване екране израчунат заштитни фактор, као однос магнетске индукције пре и након постављања екрана. Анализом вредности заштитних фактора издвојени су најефикаснији екрани.

Кључне речи: магнетска индукција, нејонизујуће зрачење, смањење нивоа магнетске индукције, заштитни фактор.

1. Увод

Приликом испитивања нивоа нејонизујућих зрачења ниских учестаности, у неким случајевима измерене су вредности магнетске индукције које премашују референтни гранични ниво. Постоје различите техничке мере које се могу применити у оваквим случајевима како би се ниво магнетске индукције смањио испод прописане вредности. Један од начина за смањење магнетске индукције је употреба одговарајућих

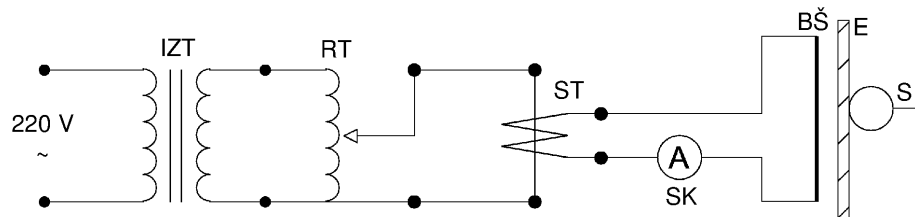
екрана [1]. Екрани се обично постављају између извора нејонизујућег зрачења и штићеног простора или се помоћу њих врши оклапање извора зрачења. У овом раду је примењена метода која подразумева постављање екрана између извора поља и штићеног простора.

У високонапонској лабораторији Електротехничког института „Никола Тесла“ извршена су истраживања ефеката различитих екрана на ограничење магнетске индукције индустријске учестаности. Циљ ових истраживања је експериментално одређивање материјала који имају значајнијег утицаја на смањење нивоа магнетске индукције.

2. Испитна шема и мерна опрема

Различити стандарди који се односе на процену перформанси екрана захтевају специфичне услове у погледу конфигурације извора зрачења, штићеног простора и мерне опреме. При томе, мале промене у овој конфигурацији доводе до различитих резултата [1], [2], [3], [4].

Шема испитног кола које је послужило за описана истраживања дата је на слици 1.



Слика 1. Шема испитног кола

Елементи шеме на слици 1 су:

- IZT - изолациони трансформатор 220 V/220 V, 10 kVA;
- RT - регулациони трансформатор 220 V/0-400 V, 8,8 kVA;
- ST - струјни трансформатор 15 kVA, примар: 0-220 V, 75 A; секундар: 1250 A;
- SK - струјна клешта 1000 A;
- BŠ - бакарна шина кроз коју протиче струја $I=300$ A;
- E - екран чији се ефекат испитује;
- S - сонда за мерење магнетске индукције.

Помоћу регулационог трансформатора се подешава струја у секундарном колу, која се мери помоћу струјних клешта. Ова струја протиче кроз бакарну шину, стварајући око ње магнетску индукцију која се мери изотропном мерном сондом. Током испитивања струја кроз бакарну шину је износила 300 A. Ова струја је на месту мерне сонде, на

растојању 25 cm од бакарне шине, изазвала магнетску индукцију од око 100 μT . Растојање између бакарне шине и екрана износи 15 cm, а између екрана и мерне сонде 10 cm. Бакарна шина је током испитивања била постављена на изолациони носач и налазила се на висини од 0,5 m од пода.

За мерење магнетске индукције коришћен је анализатор електромагнетског поља који омогућава изотропско мерење ефективних вредности поља. Анализатор електромагнетског поља чине детектор и мерна сонда.

Детектор служи за меморисање и приказ измерене вредности магнетске индукције на дисплеју и за избор функције мерења (мерни опсег, врста филтера, избор осе мерења, ефективна или вршна вредност).

Мерење магнетске индукције заснива се на мерењу индукованог напона у намотајима сонде. Сонда за мерење магнетске индукције је сферног облика, површине 100 cm². У сонди се налазе три мерна калема постављена међусобно нормално (ортогонално), који омогућавају изотропско мерење ефективне вредности магнетске индукције (истовремено у све три осе у простору). Оваквим распоредом калемова обезбеђује се мерење које је независно од положаја сонде у односу на правац и смер вектора магнетског поља. На основу напона индукованог у мерним калемовима сонде детектор израчунава ефективну вредност магнетске индукције.

3. Поступак испитивања

Приликом оцене перформанси екрана уобичајено је да се као параметар користи заштитни фактор [5], [6]. Заштитни фактор (k) представља однос магнетске индукције без присуства екрана (B_1) и магнетске индукције након постављања екрана (B_2):

$$k = \frac{B_1}{B_2} \quad (1)$$

Заштитни фактор зависи од фреквенције поља, геометрије екрана, места на коме се мери магнетска индукција, упадног угла и поларизације поља [7].

Испитивање ефеката различитих екрана на смањење магнетске индукције вршено је мерењем у истој тачки пре и након постављања екрана и анализом добијених резултата. На основу овако измерених вредности, за сваки испитивани екран израчунат је заштитни фактор применом израза (1).

Мерења магнетске индукције извршена су непосредно испред екрана у висини бакарне шине, на растојању од 25 cm од ње.

Струја кроз бакарну шину, која представља извор магнетске индукције, се током мерења парова вредности B_1 и B_2 није мењала, за све испитиване материјале.

Температура у лабораторији је у току мерења износила $18,5^{\circ}\text{C}$, а релативна влажност ваздуха 35 %.

Испитивање ефеката различитих екрана на ограничење магнетске индукције спроведено је за екране наведене у табели 1, као и за њихове комбинације.

Табела 1. Испитивани екрани

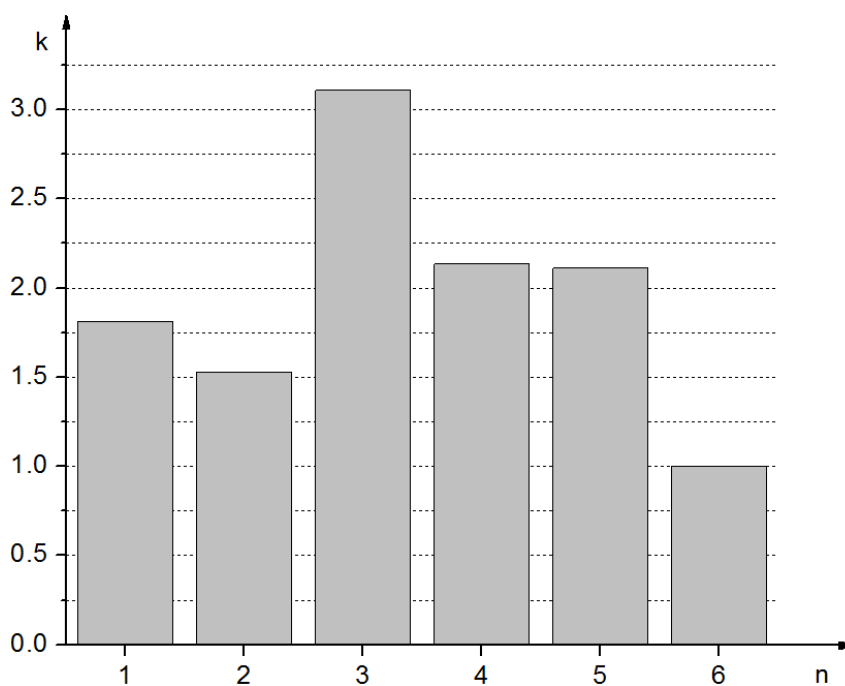
Екран	Димензије екрана [mm]
Алуминијумски лим 1	1000×958×4
Алуминијумски лим 2	1000×723×2
Алуминијумски лим 3	2500×1250×3
Алуминијумска фолија	900×600×0.1
Бакарна плоча	1000×820×2
Рам од бакарних шина квадратног облика	800×800×5
Гвоздени лим 1	827×717×2
Гвоздени лим 2	1050×1000×4
Челични лим	2000×1000×1
Трансформаторски лим	1460×620×0.4
Челична мрежа 1	1000×1000×0.6 (димензије окаца 13×13)
Челична мрежа 2	1070×1000×0.6 (димензије окаца 2×2)
Армирано стакло	998×998×6
Пластична плоча	1150×1150×4
Гипсана плоча	1200×1000×12.5
Зид од сипорекс блокова	1250×740×100
Зид од цигала	1000×750×60

4. Резултати испитивања

Вредности заштитних фактора испитиваних екрана приказане су у табелама 2 до 6 и у виду хистограма на сликама 2 до 6 [8].

Табела 2. Вредности заштитних фактора алуминијумских лимова

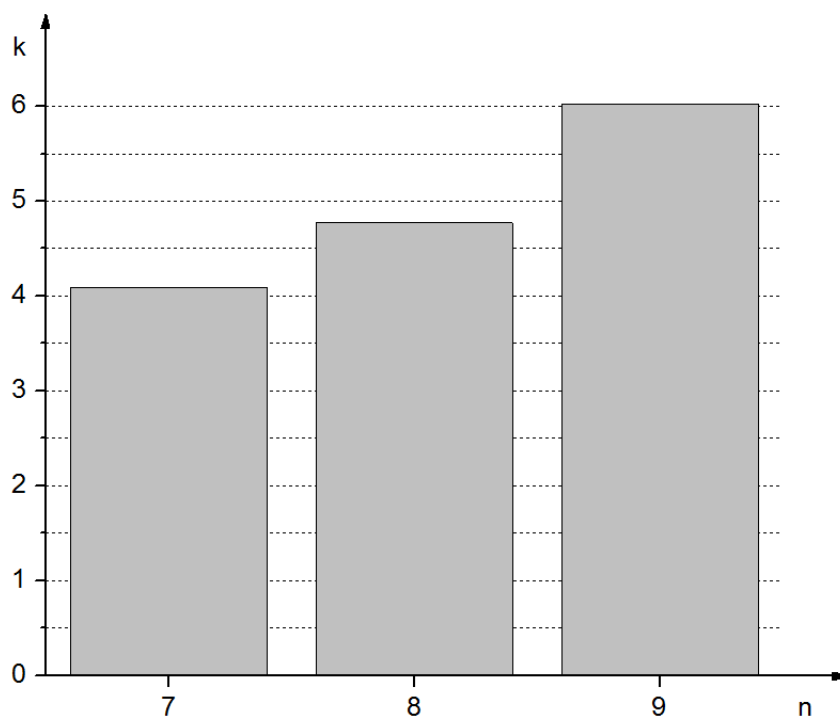
n	Екран	B_1 [μT]	B_2 [μT]	k
1	Алуминијумски лим 2 постављен вертикално	100.19	55.254	1.81
2	Алуминијумски лим 2 постављен хоризонтално	100.24	65.544	1.53
3	Алуминијумски лим 1	100.95	32.477	3.11
4	Алуминијумски лим 3 постављен хоризонтално	106.73	50.016	2.13
5	Алуминијумски лим 3 постављен вертикално	106.2	50.298	2.11
6	Алуминијумска фолија	105.85	105.91	1.00



Слика 2. Хистограм заштитних фактора алуминијумских лимова

Табела 3. Вредности заштитних фактора алуминијумских лимова

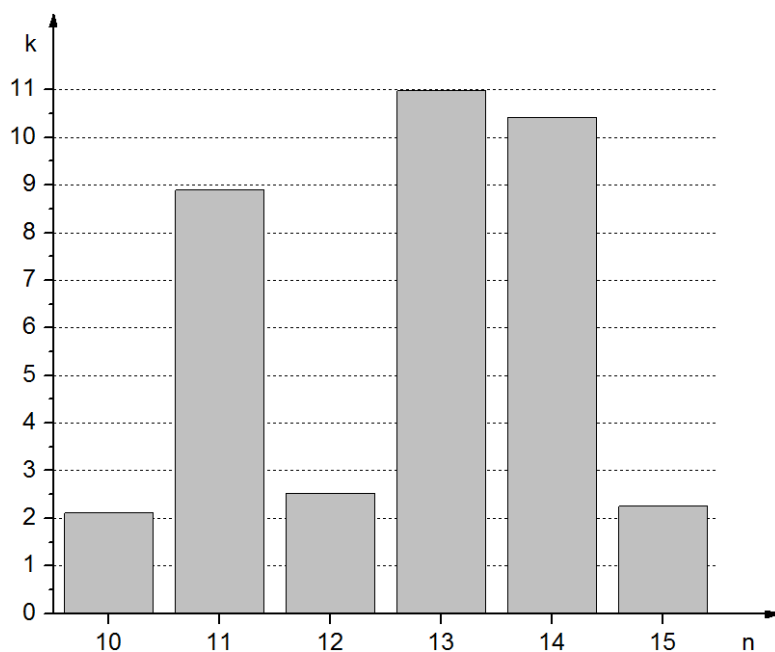
n	Екран	B_1 [μT]	B_2 [μT]	k
7	Алуминијумски лимови 1 и 2 постављени вертикално један преко другог	102.19	24.964	4.09
8	Алуминијумски лим 3 (постављен хоризонтално) и алуминијумски лим 1 постављени један преко другог	106	22.22	4.77
9	Алуминијумски лим 3 (постављен хоризонтално), алуминијумски лим 2 (постављен вертикално) и алуминијумски лим 1 постављени један преко другог	106	17.594	6.02



Слика 3. Хистограм заштитних фактора алуминијумских лимова

Табела 4. Вредности заштитних фактора трансформаторских лимова

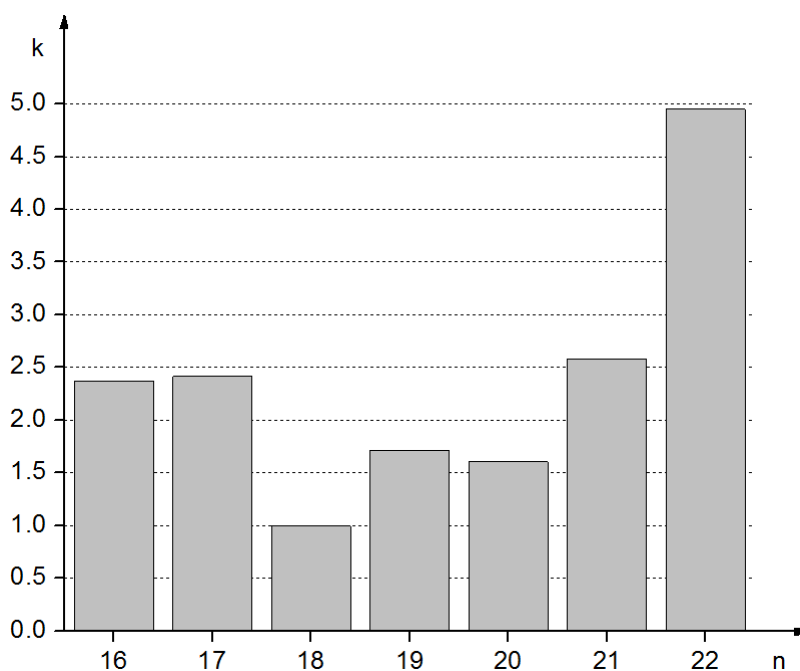
n	Екран	B_1 [μT]	B_2 [μT]	k
10	Трансформаторски лим постављен хоризонтално	103.25	48.949	2.11
11	Трансформаторски лим постављен вертикално	102.85	11.568	8.89
12	Два трансформаторска лима постављена хоризонтално један преко другог	102.92	40.661	2.53
13	Два трансформаторска лима постављена вертикално један преко другог	101.28	9.2262	10.98
14	Два трансформаторска лима постављена вертикално један поред другог	101.75	9.7699	10.41
15	Два трансформаторска лима постављена хоризонтално један изнад другог	90.178	40.079	2.25



Слика 4. Хистограм заштитних фактора трансформаторских лимова

Табела 5. Вредности заштитних фактора бабра и гвожђа

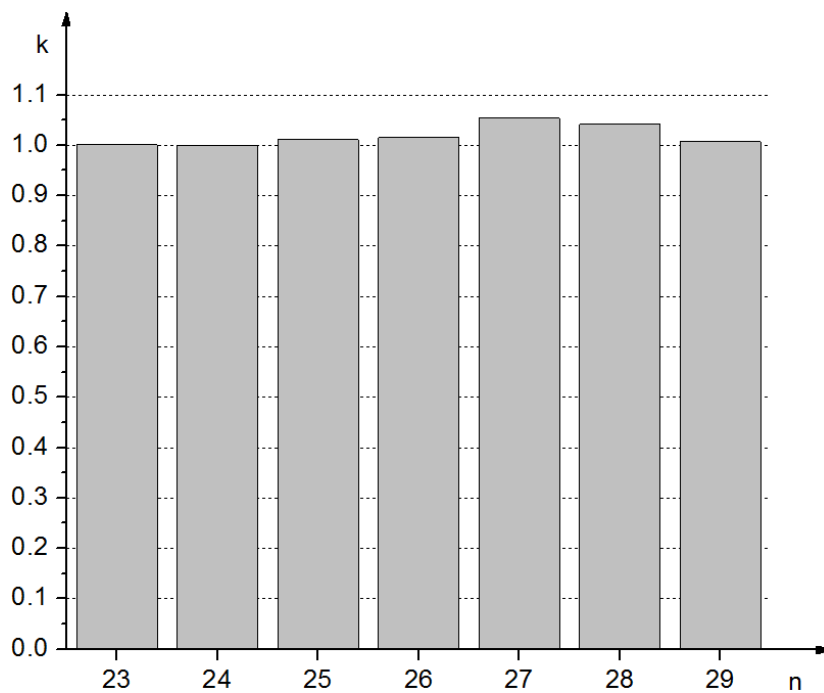
n	Екран	B_1 [μ T]	B_2 [μ T]	k
16	Гвоздени лим 1	102.52	43.278	2.37
17	Бакарна плоча	102.39	42.383	2.42
18	Рам од бакарних шина	104.5	104.92	1.00
19	Челични лим постављен хоризонтално	105.12	61.344	1.71
20	Челични лим постављен вертикално	106	66.077	1.60
21	Гвоздени лим 2	102.3	39.639	2.58
22	Гвоздени лимови 1 и 2 постављени један преко другог	105.95	21.399	4.95



Слика 5. Хистограм заштитних фактора бабра и гвожђа

Табела 6. Вредности заштитних фактора осталих испитиваних материјала

n	Екран	B_1 [μT]	B_2 [μT]	k
23	Пластична плоча	102.22	102.1	1.00
24	Гипсана плоча	102.41	102.44	1.00
25	Челична мрежа 2	102.88	101.77	1.01
26	Челична мрежа 1	102.69	101.15	1.02
27	Армирано стакло	102.71	97.458	1.05
28	Зид од цигала	106	101.76	1.04
29	Зид од сипорекс блокова	106	105.26	1.01



Слика 6. Хистограм заштитних фактора осталих испитиваних материјала

5. Закључак

Експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење магнетске индукције су показала да од свих испитиваних материјала највећу вредност заштитног фактора има трансформаторски лим. Заштитни фактор трансформаторског лима зависи од положаја лима у односу на вектор магнетске индукције, тако да је за постизање максималног степена заштите неопходно водити рачуна о оријентацији трансформаторског лима. Такође је показано да алуминијумски, бакарни, гвоздени и челични лимови имају утицаја на смањење нивоа магнетске индукције. При томе се заштитни фактори свих наведених материјала повећавају са повећањем дебљине лима. Остали испитивани материјали нису показали никакав утицај на смањење магнетске индукције.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Celozzi, R. Araneo, G. Lovat, *Electromagnetic Shielding*, New Jersey, 2008.
- [2] R. Morrison, *Grounding and Shielding*, Fifth edition, New Jersey, 2007.
- [3] G. Vijayaraghavan, M. Brown, M. Barnes, *Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection*, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2004.
- [4] R. Morrison, *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*, 2nd ed., New York, London, Sydney, Toronto, 1977.
- [5] Working Group C4.204: "Mitigation Techniques of Power-Frequency Magnetic Fields Originated from Electric Power Systems", February 2009.
- [6] *EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above*, 3rd ed., December 2005.
- [7] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, New Jersey, 2009.
- [8] Студија „Мере за ограничење и заштиту од електромагнетских поља индустријске учестаности”, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, 2012. година.

Abstract: The paper describes experimental research of the effects of different shields on power frequency magnetic induction mitigation. This research was performed in order to determine those materials that may

be used for magnetic induction mitigation in cases where the reference level is exceeded. Using measured results, the value of the shielding factor has been calculated for all tested shields and the most efficient shields were determined.

Key words: magnetic induction, non-ionizing radiation, magnetic field mitigation, shielding factor.

Experimental Research of the Effects of Different Shields on Power Frequency Magnetic Induction Mitigation

