



ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ПОЛЕ НА ТРАНСФОРМАТОР СРЕДНО/НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

Камен Сейменлийски, Силвия Лецковска, Радослав Симионов
Бургаски свободен университет

MEDIUM/LOW VOLTAGE TRANSFORMER ELECTROMAGNETIC FIELD INVESTIGATION

Kamen Seymenliyski, Silvia Letskovska, Radoslav Simionov
Burgas Free University

***Abstract:** In the modern power system, transformers play a key role in converting voltages for efficient transmission and distribution of electricity. The study of electromagnetic fields around these transformers is essential to ensure their safe and reliable operation as well as safe living conditions. This article provides a detailed analysis of the electromagnetic field of a medium/low voltage transformer carried out using specialized simulation software. This type of research is also particularly important for those living in buildings with built-in transformers, as strong electromagnetic fields can pose a health risk. Through simulations, a better understanding and management of electromagnetic emissions is achieved, providing a safer and more comfortable environment for the occupants.*

***Key words:** EMF, extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF), energy system*

Въведение

В съвременната електроенергийна система трансформаторите играят ключова роля в преобразуването на напреженията за ефективно пренос и разпределение на електроенергията. Изследването на електромагнитните полета около тези трансформатори е от съществено значение за осигуряване на тяхната безопасна и надеждна работа, както и за безопасните условия на живот. Настоящата статия разглежда детайлно анализ на електромагнитното поле на трансформатор средно/ниско напрежение, проведен с помощта на специализиран софтуер за симулации.

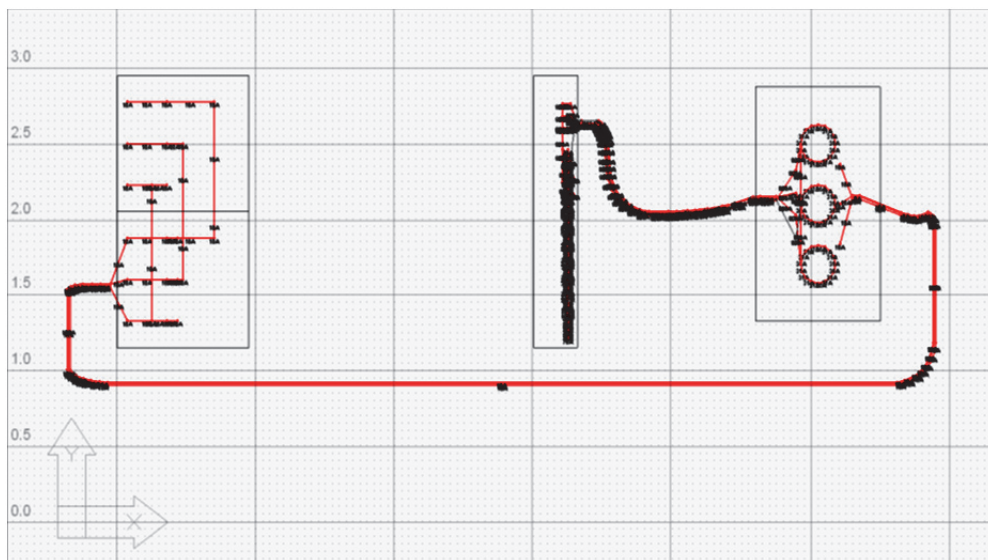
Този тип изследвания са особено важни и за живущите в сгради, в които има вградени трансформатори, тъй като силните електромагнитни полета могат да представляват здравен риск. Чрез симулации се постига по-добро разбиране и управление на електромагнитните емисии, осигурявайки по-безопасна и комфортна среда за обитателите [1,2,3,4,5,6,7].

I. Симулация с NARDA EFC-400

Програмата EFC-400 е разработена за изчисляване на нискочестотни магнитни и електрически полета на проводници. Изчисленията се извършват с помощта на закона на Био - Савар и метода на заряда, позволяващ всякакво произволно подреждане на проводниците в триизмерното пространство [23,24,25].

Електрическите полета са свързани със токовете, които се протичат през шинната система, оборудването и трансформатора. Тези полета се формират от електрическите заряди, които се движат през проводниците и създават електрически потенциали в околната среда. Магнитните полета, от друга страна, се генерират от тока, протичащ през трансформатора, като той създава магнитни полета около себе си [23,24].

Симулацията на тези излъчвания е реализирана на типова разположената апаратура в помещението. Симулацията е направена, чрез използване на кабелни линии, разположени на височина 2 м от пода на помещението. Помещението е оборудвано с трансформатор, табло ниско напрежение, КРУ 20 kV и захранващ въвод 20 kV. (фиг. 1)



Фиг. 1. Схема на свързване със зададени токове, протичащи през оборудването и трансформатора

II. Параметри за симулация

Схемата на свързване е разделена на отделни сегменти, като за всеки един от тях се зададени стойности на като дължина, позиция, напрежение, протичащ ток, честота и дефазирание на фазите (фиг. 2). Детайлното разделение на отделни сегменти дава възможност за изчисление на магнитната индукция и интензитет на електрическото поле във всеки един сегмент [8,9,10,11,12].

Симулацията е направена за следните типове трансформатори:

- Работно напрежение 20/0.4 kV, Мощност 630 kVA, тип – маслен;
- Работно напрежение 20/0.4 kV, Мощност 400 kVA, тип – маслен;



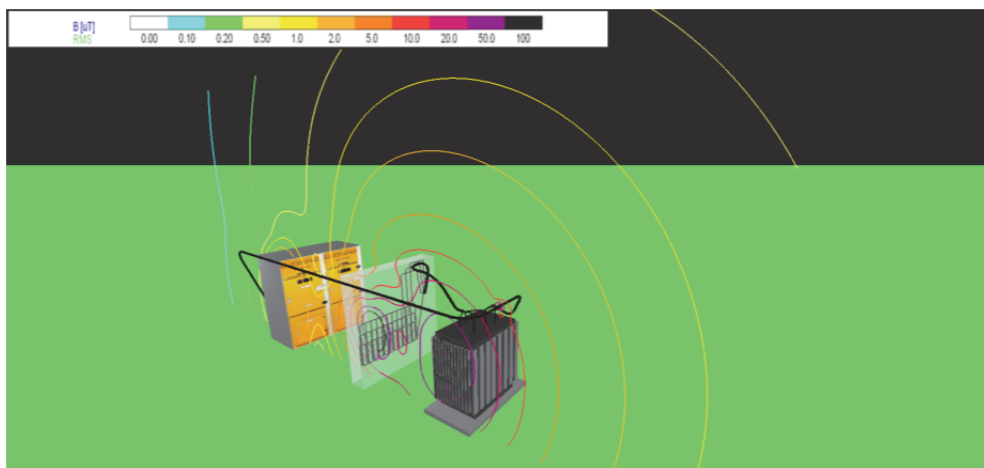
Para. No.	Number Cond.	Segments p.Cond.	Startpoint			Endpoint			Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows		
0	865	4	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	241	0.1	0.1	107		
No. Cond.	Startcoordinates			Endcoordinates			Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Cond. Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Frequency [Hz]
	X[m]	Y[m]	Z[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]								
37	-0.6	1.6	1.4	-0.6	1.6	1.4	1.4	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
38	-0.6	1.3	1.4	-0.6	1.3	1.4	1.4	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
39	-0.5	1.6	1.6	-0.5	1.6	1.5	1.6	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
40	-0.8	1.3	1.6	-0.8	1.3	1.5	1.6	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
41	-0.8	1.3	1.5	-0.6	1.3	1.4	1.5	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
42	-0.5	1.6	1.5	-0.6	1.6	1.4	1.5	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
43	-0.6	1.3	0.4	-0.6	1.3	0.4	0.4	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
44	-0.6	1.3	0.8	-0.6	1.3	0.4	0.6	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
45	-0.6	1.3	0.8	-0.6	1.3	0.8	0.8	20.0	18.2	0.0	10.0	1	0.0	50
46	-0.6	1.6	0.4	-0.6	1.6	0.4	0.4	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
47	-0.6	1.6	0.8	-0.6	1.6	0.4	0.6	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
48	-0.6	1.6	0.8	-0.6	1.6	0.8	0.8	20.0	18.2	120.0	10.0	1	0.0	50
49	-0.6	1.9	0.4	-0.6	1.9	0.4	0.4	20.0	18.2	240.0	10.0	1	0.0	50
50	-0.6	1.9	0.8	-0.6	1.9	0.4	0.6	20.0	18.2	240.0	10.0	1	0.0	50
51	-0.6	1.9	0.8	-0.6	1.9	0.8	0.8	20.0	18.2	240.0	10.0	1	0.0	50
52	4.2	1.8	1.6	4.2	1.8	1.3	1.4	20.0	18.2	0.0	5.5	1	0.0	50
53	4.2	2.1	1.6	4.2	2.1	1.3	1.4	20.0	18.2	120.0	5.5	1	0.0	50
54	4.2	2.4	1.6	4.2	2.4	1.3	1.4	20.0	18.2	240.0	5.5	1	0.0	50
55	3.9	1.9	1.4	3.9	1.9	1.3	1.4	0.0	0.0	0.0	12.5	1	0.0	50
56	3.9	2.0	1.3	3.9	2.0	1.4	1.4	0.4	909.0	0.0	12.5	1	0.0	50

Фиг. 2 – Зададени стойности необходими за симулация

Симулациите са изпълнени при различни натоварвания на трансформатора, съответно натоварване на 70%, 100%, 150% и 200%. Целта на различните натоварвания е да се симулира различните режими на работа.

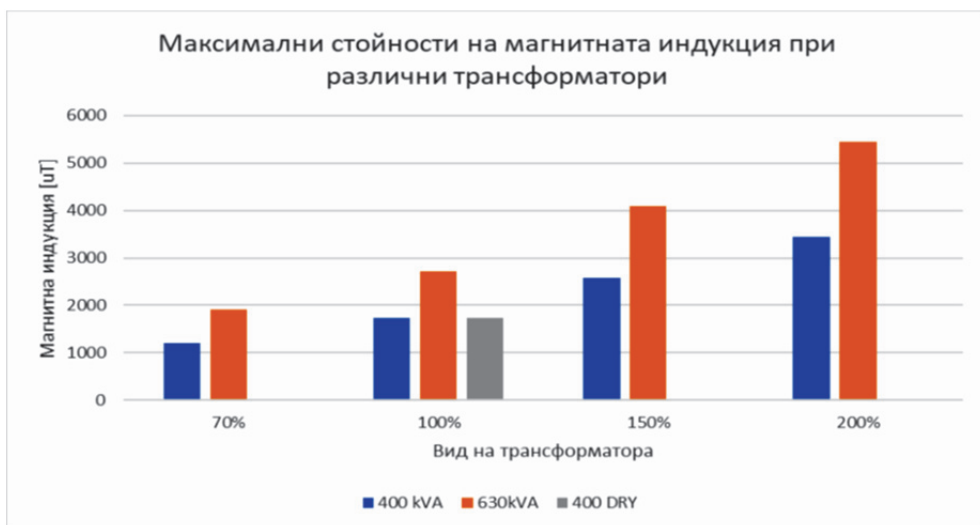
III. Резултати

Създадената симулация ясно демонстрира изменението на магнитната индукция в пространството около трансформатора средно/ниско напрежение. Анализът разкрива, че магнитната индукция е най-интензивна в непосредствена близост до трансформатора и постепенно намалява с увеличаване на разстоянието. Симулацията визуализира разпределението на магнитното поле (фиг. 3), позволявайки детайлен преглед на зоните с висока индукция и потенциалните области на въздействие върху околната среда и обитателите на сградите с вградени трансформатори [13,14,15,16,17].



Фиг. 3. 3D Визуализация на симулативно разпространение на магнитното поле

Резултатите от изследването ясно демонстрират разликите в електромагнитните излъчвания, произтичащи от различните натоварвания на енергийните системи. (фиг. 4)



Фиг. 4. Достигнати максимални стойности при различни видове трансформатори

IV. Изводи

Резултатите от проведеното изследване подчертава критичната важност на анализа на електромагнитните излъчвания, особено в контекста на електроенергийните системи. Изследванията показват, че има пряка зависимост между натоварването на трансформаторите и нивата на излъчване, което подчертава необходимостта от систематичен мониторинг и управление на тези параметри (фиг. 4). Своевременното идентифициране на проблеми и въвеждането на превантивни мерки са от съществено значение за защитата на здравето и безопасността на работещите и живущите в близост до електроенергийни съоръжения, както и на обслужващия персонал [18,19,20,21,22].



Литература:

- [1]. Zaryabova, V., Shalamanova, T., & Israel, M. (2013). Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 32(2), 209–217. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.776431>
- [2]. Tsvetelina Shalamanova, Michel Israel, Mihaela Ivanova, Victoria Zaryabova. Exposure Assessment of Magnetic Field in Dwellings with Built-in Transformers in Bulgaria. *Science Journal of Public Health*. Vol. 3, No. 1, 2015, pp. 101-106. doi: 10.11648/j.sjph.2015030128
- [3]. Hansson Mild K, Mattsson M-O, Jeschke P, Israel M, Ivanova M, Shalamanova T. Occupational Exposure to Electromagnetic Fields—Different from General Public Exposure and Laboratory Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023; 20(16):6552. <https://doi.org/10.3390/ijerph20166552>
- [3] Silviya, A., Letskovska, Nikolay, A., Mollov Eldar, D., Zaerov, Inspection Of Buildings For Energy Efficiency, ICTRS '21, November 15, 16, 2021, Virtual Conference, Bulgaria ACM ISBN 978-1-4503-9018-7/21, 2021, p. 37-42
- [4]. Radostin Dolchinkov, Atanas Yovkov, Velizar Todorov, Kristian Ventsislavov, Integrated platform for vehicle charging based on renewable energy resources, 12th International Conference, ICTRS 2023, Rhodes, Greece, September 18-19, 2023, Proceedings, Softcover ISBN 978-3-031-49262-4, eBook ISBN 978-3-031-49263-1
- [5]. Dolchinkov R., Mechanisms and machines in RES, *Electronic journal of CITN for computer science and communications*, issue. 3, ISSN 1314-7846, pp. 31-42, 2013.
- [6]. Matsankov M., Ivanova, M, Selection of optimal variant of hybrid system under conditions of uncertainty, The 2nd International Conference on Electrical Engineering and Green Energy Roma, Italy, June 28-30, 2019, <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/41/contents/contents.html>, E3S Web of Conferences, 2019, 115, 01007
- [7]. Dolchinkov R., Teaching methods in computer design of technological systems, SEVILLE, SPAIN, 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF EDUCATION, RESEARCH AND INNOVATION, ISBN 978-84-616-3849-9, p. 5785-5795, 2013
- [8]. Радостин Долчинков, Христо Михайлов, ИНЖЕНЕРИНГОВА БЕЗОПАСНОСТ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ, Годишник на БСУ, том XLVIII, 2023, ISSN: 1311-221X, с. 330 – 345
- [9]. Радостин Долчинков, Христо Михайлов, БЕЗОПАСНОСТ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЯДРЕНИ ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ, Годишник на БСУ, том XLVIII, 2023, ISSN: 1311-221X, с. 240 – 247
- [10]. Силвия Лецковска, СОФТУЕРНИ ПРОДУКТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СГРАДИ, Годишник на БСУ, том XLIV, 2021 г., ISSN: 1311-221X, с. 223 – 231
- [11]. Гинко Георгиев, Силвия Лецковска, Радостин Долчинков, ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА ХИБРИДНАТА ЕЛЕКТРИЧЕСКА СИСТЕМА НА КАТАМАРАН ПО ВРЕМЕ НА МОРСКИ ПРЕХОД, МНК БСУ, СЪВРЕМЕННИ УПРАВЛЕНСКИ ПРАКТИКИ ИНТЕЛИГЕНТНАТА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛИТИЕТО НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА, Бургас, 2021, ISSN: 1313-8758, с. 455 – 461
- [12]. Радостин Долчинков, Виктор Атанасов, ХИБРИДЕН ВЪЗБНОВЯЕМ ЕНЕРГИЕН ИЗТОЧНИК, МНК БСУ, СЪВРЕМЕННИ УПРАВЛЕНСКИ ПРАКТИКИ ИНТЕЛИГЕНТНАТА СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В ДЕСЕТИЛИТИЕТО НА СВЪРЗАНОСТТА И АВТОМАТИЗАЦИЯТА, Бургас, 2021, ISSN: 1313-8758, с. 391 – 401

- [13]. Стоянка Моллова, Силвия Лецковска, Кольо Орешков, Елдар Заеров, Кристиан Лодкаджиев, ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ И ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА RASPBERRY PI БАЗИРАН КОМПЮТЪРЕН КЛЪСТЕР, МНК БСУ, „ЧЕРНО МОРЕ – ВРАТА И МНОГО МОСТОВЕ” – 2022, Бургас, 2022, ISBN: 978-619-253-017-4, с. 549 – 555
- [14]. Радостин Долчинков, ВЯТЪРНИТЕ ГЕНЕРАТОРИ КАТО ОБЕКТ НА ОЦЕНКА, МНК БСУ, „ЧЕРНО МОРЕ – ВРАТА И МНОГО МОСТОВЕ” – 2022, Бургас, 2022, ISBN: 978-619-253-017-4, с. 569 – 576
- [15]. Пламен Ангелав, СИМУЛАЦИЯ НА МАЛКА PV СИСТЕМА МОНТИРАНА В ГРАДСКА СРЕДА - ЧАСТ.1, МНК БСУ „ДИГИТАЛНИ ТРАНСФОРМАЦИИ, МЕДИИ И ОБЩЕСТВЕНО ВКЛЮЧВАНЕ” – 2020, Бургас, 2020, ISBN: 978-619-7126-92-1, с. 432 – 436
- [16]. Пламен Ангелав, СИМУЛАЦИЯ НА МАЛКА PV СИСТЕМА МОНТИРАНА В ГРАДСКА СРЕДА - ЧАСТ.2, МНК БСУ „ДИГИТАЛНИ ТРАНСФОРМАЦИИ, МЕДИИ И ОБЩЕСТВЕНО ВКЛЮЧВАНЕ” – 2020, Бургас, 2020, ISBN: 978-619-7126-92-1, с. 437 – 441
- [17]. Димитър Юдов, Даниела Марева, ЕНЕРГЕТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МНОГОПОСТОВ ИНВЕРТОРЕН ЗАВАРЪЧЕН ИЗТОЧНИК, МНК БСУ „ДИГИТАЛНИ ТРАНСФОРМАЦИИ, МЕДИИ И ОБЩЕСТВЕНО ВКЛЮЧВАНЕ” – 2020, Бургас, 2020, ISBN: 978-619-7126-92-1, с. 419 – 431
- [18]. Даниела Марева, ЕНЕРГЕТИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ЗАВАРЪЧНИ РЕГУЛАТОРИ НА ТОК, МНК БСУ „ДИГИТАЛНИ ТРАНСФОРМАЦИИ, МЕДИИ И ОБЩЕСТВЕНО ВКЛЮЧВАНЕ” – 2020, Бургас, 2020, ISBN: 978-619-7126-92-1, с. 477 – 484
- [19]. Гинко Георгиев, Борислав Б. Цветанов, ВЪРХУ ЕДНА ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ВЪЗМОЖНОСТИ НА СИЛОВИ ФИЛТРИ НА ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ, Списание „Компютърни науки и комуникации”, Том 11, No1 (2022), БСУ, Бургас, ISSN 1314-7846, , с. 2 – 11
- [20]. Пламен А. Ангелов, Димитър Юдов, Ангел Тошков, “Оценка на влиянието на електромагнитното поле върху човека. Сравнение между препоръчителни и измерени стойности”, Телеком 2009, 9-10 Октомври, Варна, ISBN 978-954-90156-6-9, стр. 191-197
- [21]. Пламен А. Ангелов, Димитър Юдов, Ангел Тошков, “ИЗСЛЕДВАНЕ ПЛЪТНОСТТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В ГРАД БУРГАС”, Телеком 2009, 9-10 Октомври, Варна, ISBN 978-954-90156-6-9, стр. 206-213
- [22]. Plamen A. Angelov, Low frequency measurement and control of the load impedance”, ICEST 2008, 25 - 28 June 2008, Serbia Nis, ISBN: 978-86-85195-61-7, Том 1, стр. 615-618
- [23]. Nedelcheva S., G. Stamov, G. Notton, P. Poggi, M. Matsankov. Simulation of electrical loads in electrical network nodes with decentralized productions, Electromotion-2009 – EPE Chapter “Electric Driver” Joint Symposium, Lille, France, 1-3.07.2009, p.1-5, SCOPUS, Print ISBN: 978-1-4244-5150-0
- [24]. Мацанков М., Краткосрочно прогнозиране на електрическите товари, Издателство на ТУ – София 2019 г. ISBN: 978-619-167-357-5.
- [25]. Неделчева Ст. М. Мацанков, И. Лазаров, Приложение на теорията на вероятностите и математическата статистика в електроенергетиката, Известия на ТУ – Сливен, № 6, 2018 г. ISSN 1312-3920, стр. 3 – 60