

3 2014
брой
Май-Юни

ЕНЕРГЕТИКА





Редколегия
на сп. "Енергетика"

Иван Айолов
Екатерина Истаткова
Нели Станимирова
Ангел Георгиев
Доц. г-р инж.
Валентин Кирчев
Доц. г-р инж.
Валентин Колев
Проф. г-р инж.
Милко Йовчев
Проф. г-р инж.
Бончо Бонев

Главен редактор
Венета Марковска
Редактор
Боряна Петрова
Коректор
Анжелина Ненова
Фотограф
Диана Гинчева

Адрес на редакцията
НЕК ЕАД
1040 София
ул. Триадица № 8

Адрес за кореспонденция
НЕК ЕАД
ул. Веслец 5
1040 София
e-mail: bpetrova@dir.bg
тел.: 926 32 43
факс: 987 25 50

СЪДЪРЖАНИЕ

Поздравителен адрес на Екатерина Истаткова, изп. директор на НЕК ЕАД, по повод Деня на енергетика	3
ИНФОРМАЦИЯ	
"Булгартрансгаз" ЕАД получи европейско финансиране от Международен фонд "Козлогуй" и стартира проектиране и изграждане на три нови газопроводни отклонения	4
ЮБИЛЕЙ	
ДП РАО отбеляза своята десета годишнина	5
ИНФОРМАЦИЯ	
ЕСО ЕАД стана част от благотворителната кампания на Национален фонд "Свети Никола"	7
Международен енергиен форум (18 - 20 юни 2014)	8
РАЗВИТИЕ И ТЕНДЕНЦИИ	
<i>П. Нотов</i>	
Структура, проблеми и развитие на съвременните ЕЕС	9
ИНФОРМАЦИЯ	
МАЕ: Светът се нуждае от \$48 трилиона за посрещане на енергийните си нужди до 2035 г.	16
ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ	
<i>Т. Червенкова, А. Червенков, И. Христова</i>	
Анализ на магнитното поле на въздушна линия за високо напрежение	17
ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ	
<i>А. Гайдарджиев</i>	
Преобразуване на слънчевата енергия в електрическа посредством термоелектрически генератори	22
ИНФОРМАЦИЯ	
Международен проект насърчава ВЕИ на Балканите	26
ОСВЕТИТЕЛНА ТЕХНИКА	
<i>Н. Василев</i>	
Повишаване на енергийната ефективност на външното осветление чрез димиране на светлинния поток	27
ИНФОРМАЦИЯ	
ЕС одобри по-строги правила за ядрената безопасност	35
ИНФОРМАЦИЯ	
Спортни игри "Приморско 2014"	36

АНАЛИЗ НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ НА ВЪЗДУШНА ЛИНИЯ ЗА ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ

ДОЦ. Д-Р ИНЖ. ТОДОРКА ЧЕРВЕНКОВА,
ДОЦ. Д-Р ИНЖ. АТАНАС ЧЕРВЕНКОВ, ИНЖ. ИВЕЛИНА ХРИСТОВА -
Технически университет - София

Изследва се магнитното поле, създадено от въздушен електропровод за високо напрежение. Анализът се извършва числено чрез компютърно симулиране. Използва се методът на крайните елементи, за да се определят векторите на магнитното поле, създадено от проводниците на линията за високо напрежение. Изчислява се магнитната индукция и се определя разпределението на магнитното поле в околността на електропровод 220 kV.

Електрическото и магнитното поле са силни фактори, влияещи върху състоянието на техническите съоръжения и върху биологичните обекти, включително човека. Електрическото поле е опасно за всички технически средства, тъй като може да наруши тяхната нормална работа, поради възникване на допълнителни индуктирани токове в тях. То създава и вредно въздействие върху хора, животни и растения, като предизвиква неприятни усещания или нарушава нормалната работа на различни органи и системи, когато те се намират в близост до електрическите съоръжения. Затова е необходимо да се изследва нивото на електрическия интензитет на електропроводите.

Магнитното поле в последните години се счита за по-опасно за здравето на човека. За съжаление в България голяма част от електропроводите са били построени, без да се отчита тази опасност. Затова е необходимо изследване нивата на магнитния интензитет и на магнитната индукция с цел да се осигури безопасна околна среда и нормален живот на хората.

Всички живи организми имат собствени магнитни полета (биополета). Използването им в новите методи на диагностика на човешкото тяло като магнитокардиография и магнитоенцефалография води до усъвършенстването на медицинската техника. Магнитното поле на мозъка на човека е с индукция $10^{-10} \div 10^{-12} \text{T}$, а на сърцето и мускулната тъкан съответно $10^{-10} \div 10^{-11} \text{T}$. Тези полета са съизмерими по интензитет и може да се допусне, че при взаимодействие с външно магнитно поле се променят електричните и магнитните характерис-

тики на организма [5]. Това налага по-подробно да се анализира магнитното поле около електрическите съоръжения, които са източници на силни магнитни полета.

ОПРЕДЕЛЯНЕ ВЕКТОРИТЕ НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ

Проводниците на електропровод за високо напрежение ВН се разглеждат като източници на магнитното поле, създадено от ток i с токова плътност \vec{j} .

Интензитетът на магнитното поле \vec{H} се определя от първото уравнение на Максвел в диференциален вид

$$(1) \quad \text{rot } \vec{H} = \vec{j},$$

Магнитната индукция \vec{B} е

$$(2) \quad \vec{B} = [\mu] \vec{H}.$$

Матрицата на магнитната проницаемост на средата, в която се разпространява магнитното поле $[\mu]$ е

$$(3) \quad \mu = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu_{rx} & 0 & 0 \\ 0 & \mu_{ry} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{rz} \end{bmatrix},$$

където μ_0 е магнитната проницаемост на пустотата, а μ_{rx} , μ_{ry} и μ_{rz} са относителните магнитни проницаемости по осите x , y и z .

Използва се магнитен вектор-потенциал \vec{A}_μ , въведен с израза

$$(4) \quad \vec{B} = \text{rot } \vec{A}_\mu,$$

при калибровъчно условие

$$(5) \quad \text{div } \vec{A}_\mu = 0.$$

Предполага се, че магнитната проницаемост на околната среда, в която се затварят магнитните линии на потока на взаимната индукция, не зависи от интензитета на магнитното поле. За околна среда

Въздух, при $\mu_x = \mu_y = \mu_z = 1$, $\mu = \mu_0$ се достига до уравнението на Поасон

$$(6) \quad \nabla^2 \vec{A}_\mu = -\mu \vec{J},$$

където ∇ е диференциален оператор.

$$(7) \quad \nabla^2 \vec{A}_\mu = \frac{\partial^2 \vec{A}_\mu}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}_\mu}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}_\mu}{\partial z^2} = \\ = \nabla^2 A_x \vec{x}^0 + \nabla^2 A_y \vec{y}^0 + \nabla^2 A_z \vec{z}^0.$$

Плътността на тока е с направление по оста z , следователно уравнението на Поасон има вида

$$(8) \quad \nabla^2 \vec{A}_\mu = -\mu \vec{J}_z.$$

ЧИСЛЕНО РЕШЕНИЕ

Уравнението на Поасон се решава числено, като се използва методът на крайните елементи. Магнитният вектор-потенциал се определя с израза

$$(9) \quad \{A\} = [N_A]^T \{A_\varepsilon\}$$

където: N_A е матрицата на функциите на формата на елементите, A_ε е магнитният вектор-потенциал във възлите на крайния елемент.

Векторът на токовата плътност се определя с израза

$$(10) \quad \{J\} = \int_v \{J_s\} [N_A]^T dv,$$

където: v е обемът на крайния елемент, J_s е векторът на токовата плътност във възлите на елемента.

Векторите на магнитното поле се определят като производни на магнитния вектор-потенциал. Магнитната индукция се определя с израза

$$(11) \quad \{B\} = \nabla \times [N_A]^T \{A_\varepsilon\}.$$

Векторът на интензитета на магнитното поле е

$$(12) \quad \{H\} = [v] \{B\},$$

където v е матрицата на специфичното магнитно съпротивление и

$$(13) \quad [v] = \frac{1}{[\mu]}.$$

Разглежда се магнитното поле, създадено от проводниците на трифазната система на електропровод за високо напрежение - 220 kV, показан на **Фиг.1**.

На **Фиг.1** с h е означена височината на окачване на проводника за най-ниската фаза, а с h_{\min} - височината на провеса на проводника.

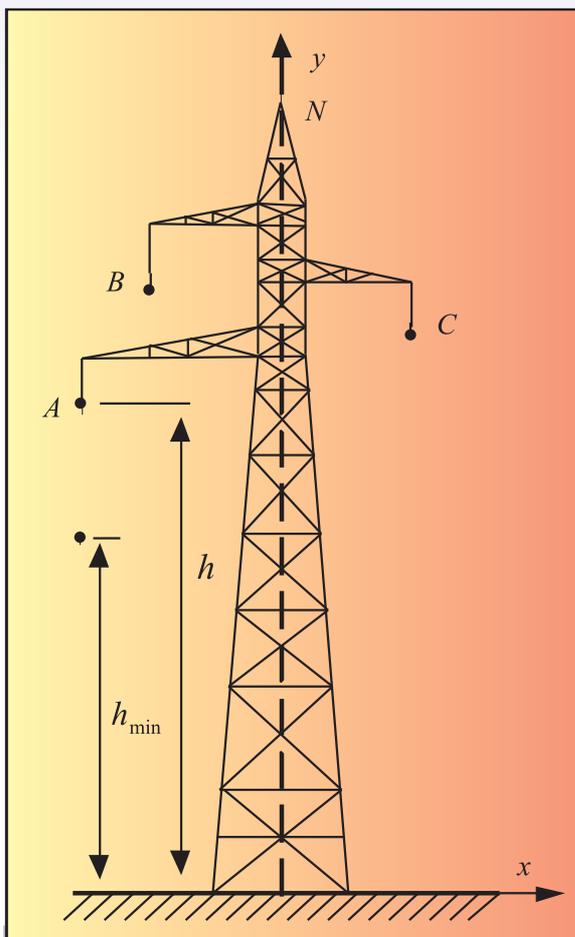
Електропроводът е с една тройка (един проводник на фаза). Проводниците са тип АСО-500 и са разположени във върховете на триъгълник.

За анализа на магнитното поле се използва програмния пакет ANSYS [6].

Магнитното поле се разглежда в равнина, перпендикулярна на трасето на електропровода. Векторът на плътността на тока е насочен по протежение на проводниците на електропровода, т.е. по оста z .

Използва се краен елемент vector quad 8 nodes тип PLANE 53. Той е квадратичен елемент с 8 възела и осигурява нелинейна апроксимация на изследваната функция в крайния елемент.

Токовете в проводниците на електропровод ВН в нормален режим на работа об-



Фиг.1



разуват трифазна симетрична система. Токовете в трите фази са равни по амплитуда (ефективна стойност) и са отместени на 120° един спрямо друг. Честотата на тока през проводниците на електропровода за ВН е $f=50$ Hz. Изчисленията са извършени за момент от време, за който токът през проводника на най-ниската фаза има максимум, с ефективна стойност на тока $I=35$ A.

При изчисленията се приемат височини на проводниците на трите фази и на неутралния проводник - $h_A=19$ m, $h_B=24$ m, $h_C=22$ m, $h_N=30,8$ m. Провесът на проводника е $h_{min}=11$ m. Отстоянията на проводниците на трите фази от оста на стълба са съответно - $d_A=6,5$ m, $d_B=4,2$ m, $d_C=4,2$ m. Относителната магнитна проницаемост на околното пространство (въздух) е $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$.

РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИИТЕ

Разглежда се околното пространство около стълб от електропровод ВН - 220 kV.

Схемата на областите с крайни елементи на стълба от въздушния електропровод е показана на **фиг.2**.

Извършени са симулации при две положения на захранващите проводници - за случая на окачване на стълба и за случая на най-ниското им положение, в точката на

максималния провес h_{min} . Най-големи стойности на магнитното поле се получават при минимална височина на проводниците над земята - при провеса в междустълбието.

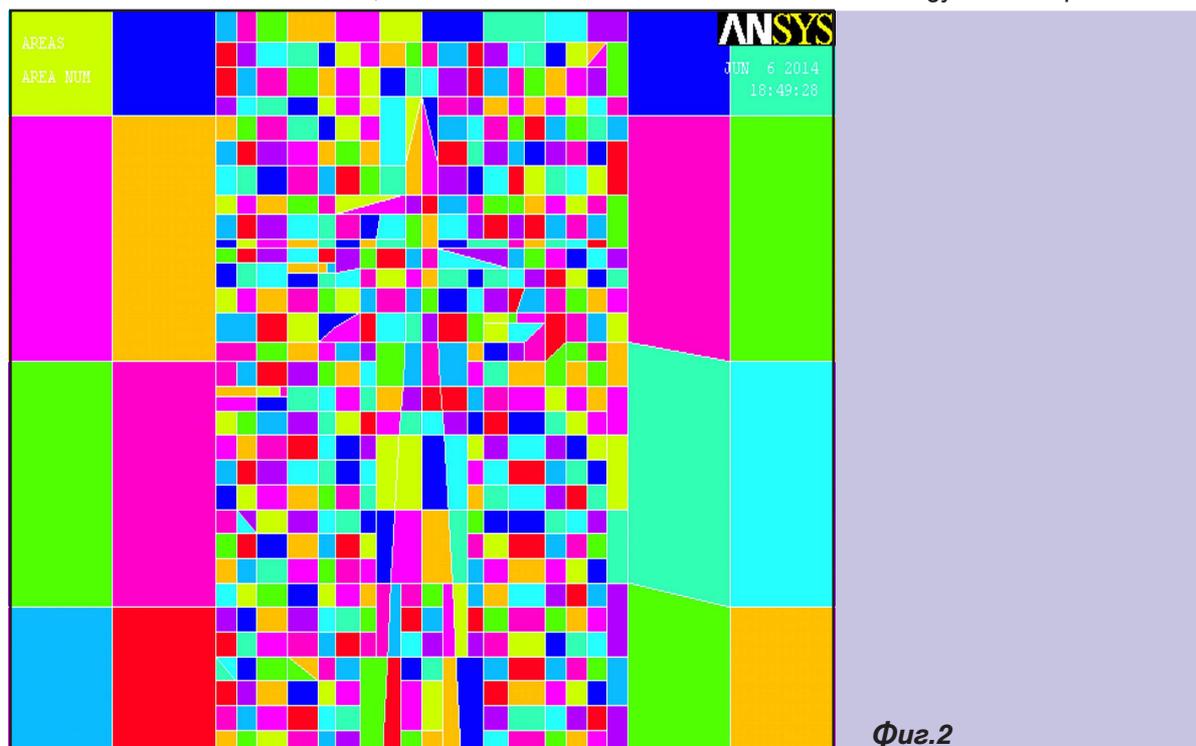
Картината на разпределението на хоризонталната компонента на магнитната индукция в околността на електропровода, при минимална височина на проводниците над земята е показана на **фиг.3**.

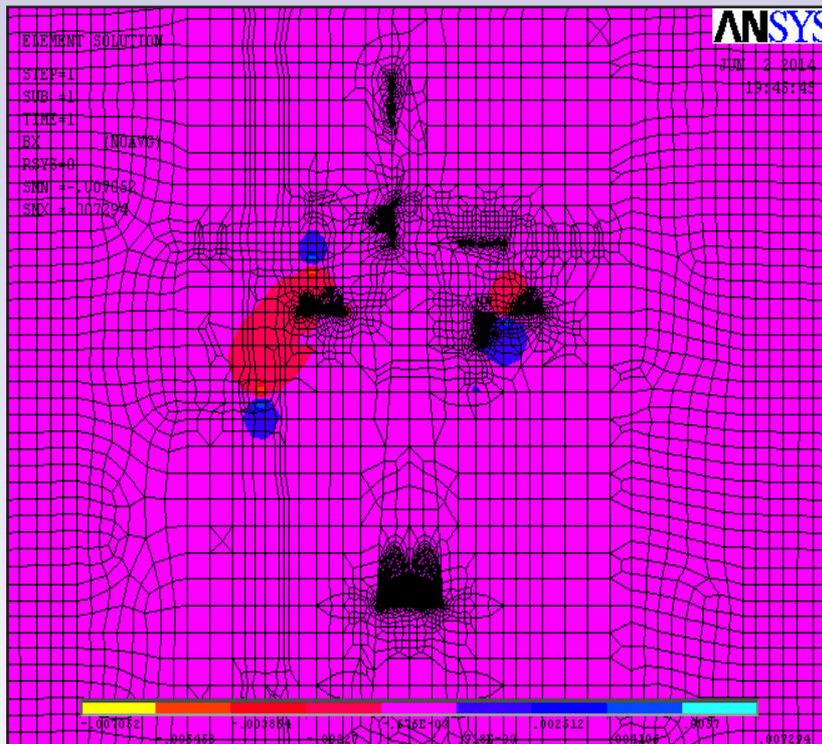
Резултатите от изчисленията за стойностите на хоризонталната компонента на магнитната индукция показват, че разпределението на магнитната индукция е несиметрично. Магнитната индукция има по-големи стойности в лявата полуравнина. На разстояние 15 m от оста на трасето на електропровода, на височината на човек (1,8 m) магнитната индукция е $1,65\mu$ T.

Резултатите от изчислението на вертикалната компонента на магнитната индукция и разпределението ѝ в околността на електропровода при минимална височина на проводниците над земята е показано на **фиг.4**.

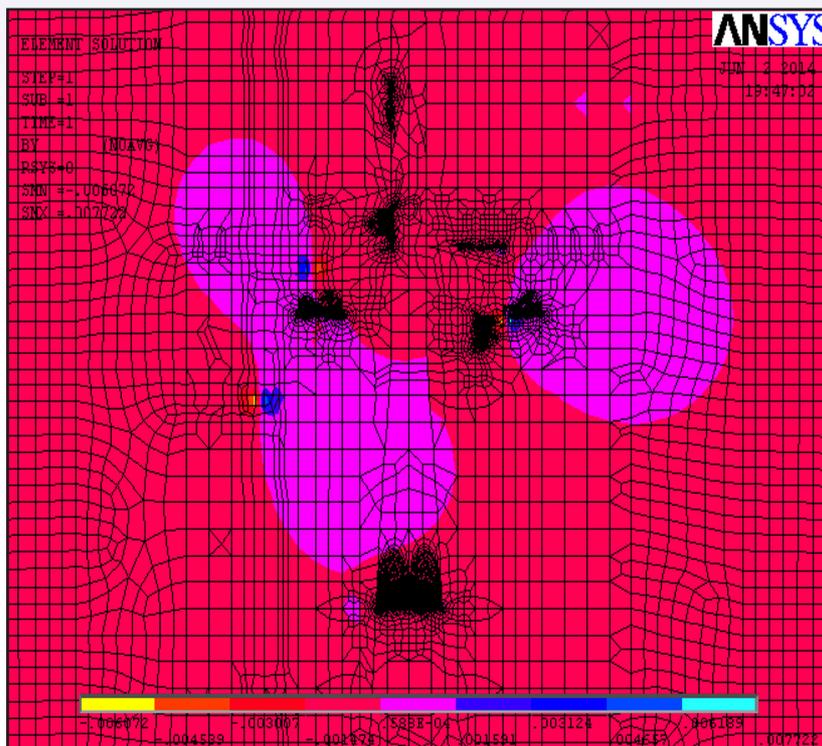
Разпределението на вертикалната компонента има също несиметрия, но по-различен характер в сравнение с разпределението на хоризонталната компонента.

Стойността на вертикалната компонента на магнитната индукция на разстояние





Фиг.3



Фиг.4

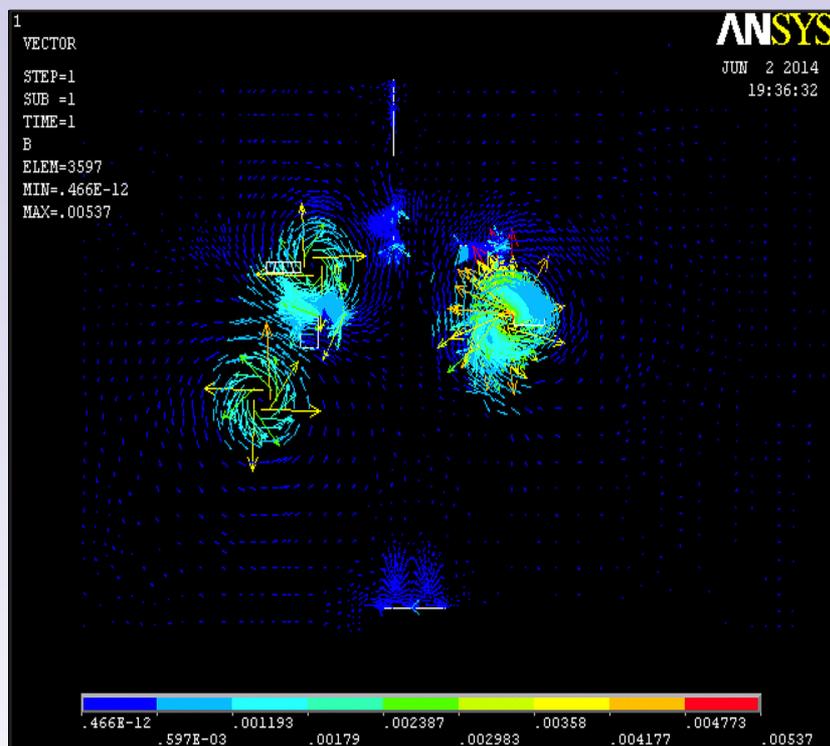
15 m от оста на трасето на електропровода, на височината на човек (1,8 m) е $0,83\mu\text{T}$.

Интерес представлява векторното поле, т.е. разпределението на вектора на магнитната индукция. Това разпределение е показано на **фиг. 5**.

Стойността на магнитната индукция под

стълба на електропровода за ВН на височина 1,8 m е $0,62\mu\text{T}$. Полето има силно изразен вихров характер и е неравномерно в областите около захранващите проводници. Магнитната индукция има по-големи стойности в повечето области на лявата полуравнина и това създава несиметрия.





Фиг.4

Направените симулации са валидни за стационарен режим при нормална работа на електропровода за ВН. Нивото на магнитната индукция на полето около електропровода за ВН зависи от режима на работа и от плътността на тока през фазовите проводници, а той е силно динамичен и зависи от множество странични фактори. Едни от тези фактори са температурата на въздуха и загряването, причинено от преминаването на ток през проводника, а те променят височината на проводниците над земната повърхност.

Сравняването на получените при симулациите резултати с измерените и публикуваните стойности за магнитната индукция е силно затруднено, понеже те зависят от товара на електропровода, а при повечето данни в литературата не се посочва при какви стойности на тока са били получени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследвано е магнитното поле, създадено от въздушен електропровод за високо напрежение - 220 kV.

Извършени са симулации за две положения на захранващите проводници - за случая на окачване на стълба и за случая на най-ниското им положение, в точката на максималния провес. Най-големи стойности на магнитното поле се получават при минимална височина на проводниците над

земята - при провеса в междустълбието.

Определени са хоризонталната и вертикалната компонента на магнитното поле в околността на електропровода. Получени са стойности на магнитната индукция на височината на човек. Разпределението на вертикалната компонента има по-различен характер в сравнение с разпределението на хоризонталната компонента.

Разпределението на магнитната индукция е несиметрично. Магнитната индукция има по-големи стойности в едната полуравнина. Полето е неравномерно в областите около захранващите проводници.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ - София-2013 г. по Проект № 132ПД0004-16.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley, 1992.
- [2] E. Habiger, *Electromagnetic Compatibility*, Huthig, 1998.
- [3] Генков Н. Т., В.Т. Захариев, *Механична част на електрическите мрежи*, София, изд. на ТУ-София, 1990.
- [4] Червенкова Т, И. Христова, *Източници на електромагнитни смущения и начините на проникването им в електротехнически обекти*, Годишник на ТУ-Сливен, том 5 2013.
- [5] <http://www.bfs.de/de/elektro/nff/wirkungen/wirkungen.html>
- [6] <http://www.ansys.com/>