

ИЗТОЧНИЦИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ СМУЩЕНИЯ И НАЧИНИТЕ НА ПРОНИКВАНЕТО ИМ В ЕЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТИ

ТОДОРКА ЧЕРВЕНКОВА, ИВЕЛИНА ХРИСТОВА

Технически Университет – София, Инженерно-педагогически факултет – Сливен,
катедра "Електротехника Електроника и автоматика"

Резюме

Целта на този изследване е да се направи преглед и се дадат основните физични принципи на електромагнитни смущения и принципите на проникване им в електроенергийните обекти и системи. Посочени са основните източници на електромагнитните смущения и начините на проникването им в електротехническите устройства. Извършена е класификация на източниците на смущения в зависимост от начините на възникването им. Показани са и начините и механизмите на проникването на електромагнитните смущения в електрическите обекти. Оформена е класификация на начините на проникване на електромагнитните смущения. Статията осигурява основата за изследването на електромагнитната съвместимост EMC на електротехнически обекти.

Ключови думи: електромагнитна съвместимост, електромагнитни смущения, проникване, електротехнически обекти.

SOURCES OF ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES AND CASES OF THEIR PENETRATION IN ELECTRICAL OBJECTS

TODORKA CHERVENKOVA, IVELINA HRISTOVA

Abstract

The purpose of this investigation is to make introduction and to give general physical principles of electromagnetic disturbances and principles of their penetrating in electrical objects and systems. The general sources of electromagnetic disturbances and cases of their penetrating in electro-technical devices are indicated. The classification of disturbances sources is made. The mechanisms of penetrating of electromagnetic disturbances in electrical objects are given. The classification of disturbances in the cases of penetrating are made. This paper is base of the future investigations of electromagnetic compatibility of electro-technical objects.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic disturbances, penetrating, electro-technical objects.

ВЪВЕДЕНИЕ

Наличието на електрическа връзка между всички електроенергийни потребители е причината те взаимно да си влияят. Това влияние се нарича електромагнитно смущение.

Осигуряването на нормалното функциониране на електроенергийните обекти, без да причиняват вредни електромагнитни взаимодействия върху останалите технически средства и човека, е необходимо условие за устойчивото развитие на икономиката.

За ограничаване смущенията върху работата на техническите устройства е необходимо преди всичко да се открият източниците и начините на проникване на смущенията.

ИЗТОЧНИЦИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ СМУЩЕНИЯ

Електромагнитната обстановка (ЕМО) в която работят техническите средства изисква определяне на източниците на смущения. Необходимо е първо да се направи систематизиране на смущенията в електрическите съоръжения и след това да се изследват механизмите на възникването им и възможните мерки за тяхното намаляване или отстраняване.

Основните концепции в теорията на електромагнитната съвместимост - фиг.1 са концепциите за източници *И*, приемници *П* на електромагнитна енергия (електромагнитни смущения) и свързваща ги среда *З* (фиг.1).



Фиг.1

Тук като приемници на електромагнитни смущения ще се разглеждат електрическите устройства и съоръжения в електроенергетиката.

Може да се различат две големи групи източници на електромагнитни смущения *естествени* и *изкуствени* :

Смущенията с естествен характер не са свързани с човешката дейност и не зависят от тях. Към естествените източници на смущения се отнасят гръмотевичните бури под формата на *мълнии*, както и възможни разряди от статично електричество между телата, които са получили заряд с различен поляритет. Всички други естествени смущения с космически произход, предизвикващи смущения под формата на атмосферен шум, геомагнитни и геоелектрични полета оказват слабо влияние върху по-голямата част от електрическите съоръжения.

Смущенията с изкуствен характер възникват в процеса на човешката дейност. Изкуствени смущения създават електропроводите, комутационните апарати, високоволтовите линии и редица други електрически и електронни устройства. Те могат да възникнат при процеси на нормална работа или при аварийен режим. Тези смущения могат да попаднат в електрическите системи или устройства заедно с полезният сигнал, чрез напрежението и тока на захранващата мрежа (u , i), по полевия път чрез интензитета на електрическото и магнитното поле ($\vec{E}$, $\vec{H}$) или чрез антенният ефект (като електромагнитна вълна).

Смущения могат да възникнат и вътре в самите системи или устройства. В резултат на това смущенията могат да се определят като *външни* и *вътрешни*.

Причините за появата на вътрешни смущения в електротехническите системи и устройства са: захранващото напрежение с честота 50Hz ; промяната на потенциала в захранващите проводници на електротехническите устройства; комутационните процеси; искров разряд при затваряне и отваряне на контакти; резонансните явления и др.

Във всички устройства и уреди, които използват електрическа енергия, протичат нормални и аварийни процеси. В зависимост от това дали генерирането на електромагнитни вълни (ЕМВ) е целенасочено или паразитно, източниците на електромагнитни смущения могат да се дефинират като *функционални* и *нефункционални*.

Към функционалните източници се отнасят радио и телевизионните предаватели, които разпространяват електромагнитни вълни в околното пространство чрез антенния ефект. Към тази група се отнасят и високочестотни генератори за промишлени и медицински цели, устройства за радио-управление и т.н. Те създават смущения с ниска, средна и висока честота от няколко херца до 100 GHz при нормален режим на работа.

Към нефункционалните източници се отнасят газоразрядните лампи, заваръчната техника, релейните и защитните бобини, безконтактните превключватели, комутациите във вериги високо напрежение, ефекта корона, частичните разряди и т.н. При нефункционалните източници на електромагнитни смущения излъчванията са случайни във времето, обикновено в широк честотен диапазон или са паразитни и нямат нищо общо с основната функция на техническото устройство.

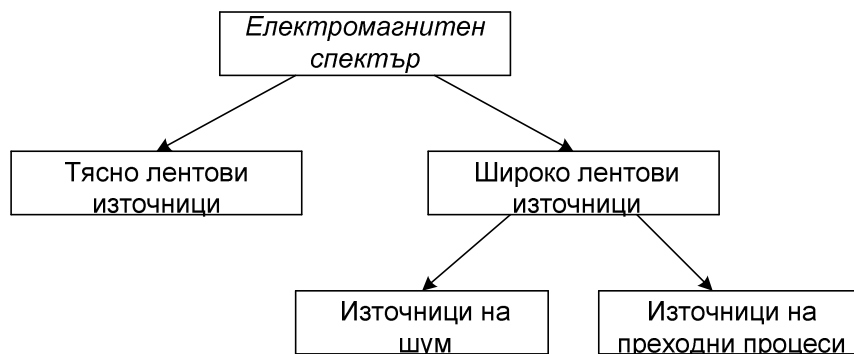
Съблюдаването на електромагнитната съвместимост (ЕМС) при функционалните източници е сравнително лесна задача, тъй като природата им и излъчвателите(предавателите) са очевидни. За разлика от това идентифицирането на нефункционалните източници е сложна задача. Тяхното съществуване трябва да се търси в неочакваното поведение на системата. Ето защо идентифицирането на нефункционалните източници е важна задача за осигуряването на ЕМС. Само когато се установи източника на смущение и механизма на връзката с приемника, тогава осигуряването на ЕМС е гарантирано.

Източниците на електромагнитна енергия може да се класифицират и по излъчванията им в честотния спектър - фиг.2. Различават се *тясно-лентови* и *широко-лентови*.

Тясно лентов се нарича процесът, когато спектърът се концентрира основно в тясна честотна лента около фиксирана честота ω_0 .

Широколентовите процеси имат много плътно разположени спектрални линии (непрекъснат спектър),

Към тясно-лентови източници на смущения спада и влиянието на мрежата т.е. наличието на висши хармоници в електрическите мрежи, захранващите линии, генератори за висока честота и т.н.



Фиг.2

Широколентовите смущения може се разделят на *шумови* и *преходни*.

Шум смущенията са съставени от много близки или препокриващи се импулси, които не могат да бъдат разделени или описани с аналитични функции, въпреки че в общия шум има някой закономерности.

Преходните смущения могат да бъдат във вид на *импулс* (смущения от корона и частични разряди в изолацията на електрическите съоръжения) или на *периодична* функция (смущения от тиристорни устройства).

Към широко лентовите източници на смущения могат се отнесат излъчванията на въздушни линии за високо напрежение, преходни процеси в индуктивни вериги, преходни процеси във вериги ниско напрежение, преходни процеси във вериги високо напрежение и т.н.

От основно значение за ЕМС се явяват смущенията съвпадащи по фаза (*синфазни смущения*) и не съвпадащи по фаза (*противофазни смущения*).

Синфазните смущения възникват между проводник и земята и влияят на изолацията и на заземителните проводници.

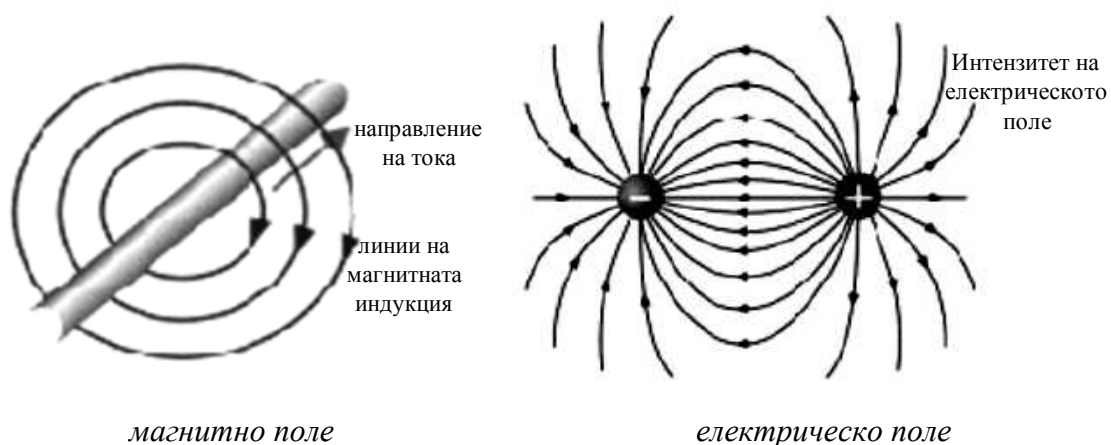
Противофазните смущения възникват между проводниците на двупроводна линия и се наслагват заедно с полезния сигнал в сигналните контури или с напрежението на захранващата линия и влияят на изолацията на линейните проводници.

МЕХАНИЗМИ НА ПРОНИКВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ СМУЩЕНИЯ

Определянето на механизмите на проникване на смущенията между източника и приемника никак не е лесна задача. Например при наличие на ток в проводник (фиг.3) около него възниква магнитно поле, а при наличие на напрежение между проводниците възниква електрическо поле.

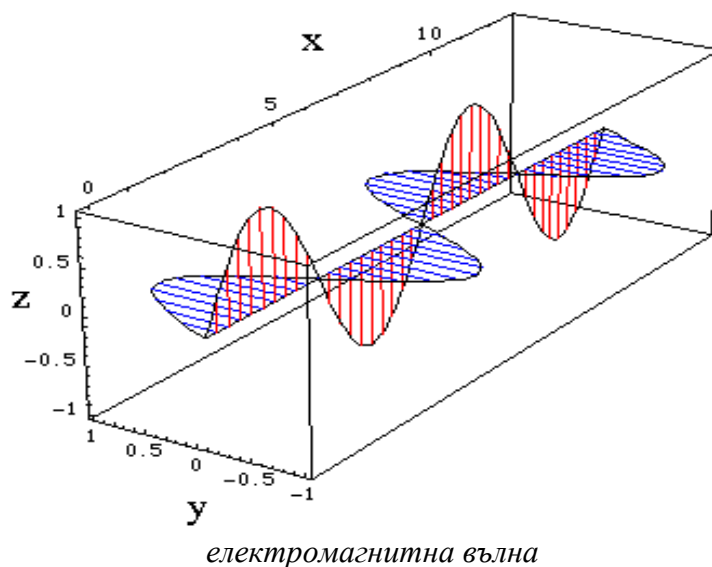
Всяка от тези области е в състояние да предизвика смущение във сигналния (управляващия) или силовия контур на електротехническите устройства.

Електрическото и магнитното поле са свързани в едно единно електромагнитно поле (ЕМП). Електричното и магнитното поле съществуват самостоятелно само ако не се променят с течение на времето.



Фиг.3

Променливите полета са взаимно свързани: Променливото магнитно поле поражда променливо електрично поле, което от своя страна създава променливо магнитно поле и т.н. Следователно в цялото пространство съществуват едновременно както променливи електрични, така и променливи магнитни полета, които взаимно се поддържат, т.е. в пространството съществува едно единно променливо ЕМП. Във всяка точка електромагнитното поле се характеризира с векторните величини интензитет на електрическото поле $\vec{E}$ и магнитна индукция на магнитното поле $\vec{B}$. Електромагнитните явления се описват в класическата електродинамика с уравненията на Максвел. Максвел доказва, че светлината също е електромагнитна вълна (фиг.4), за която векторите $\vec{E}$ и $\vec{B}$ са взаимно перпендикулярни и са перпендикулярни на посоката на разпространение на вълните.



Фиг.4

При ускорително движение на заредените частици ЕМП “се откъсва” от тях и съществува независимо под формата на **електромагнитни вълни** (фиг.3) и не изчезва при отстраняване на източника (например, радиовълните не изчезват и при отсъствие на ток в излъчителя ги антена).

Електромагнитните вълни се характеризират с дължина на вълната, която се обозначава с λ (ламбда). Важна особеност на ЕМП е делението му на така наречените *близка* и *далечна зони*.

В близката зона, или *зоната на индукция*, на разстояние от източника $r < \lambda$, ЕМП може да се счита за квазистатично. Тук ЕМП бързо намалява обратно пропорционално на квадрата r^2 или куба r^3 на разстоянието. В близката зона на излъчване електромагнитната вълна още не е сформирана. Полето в зоната на индукция служи за формиране на бягащата съставляща на електромагнитната вълна, която създава излъчването.

Далечната зона е зоната на сформираната електромагнитна вълна. Тя обикновено започва от разстояние $r > 3 \lambda$. В далечната зона интензитетът на полето намалява обратно пропорционално на разстоянието до източника r , като е установена следната връзка между векторите електрически интензитет $\vec{E}$ и магнитен интензитет $\vec{H}$ на ЕМП

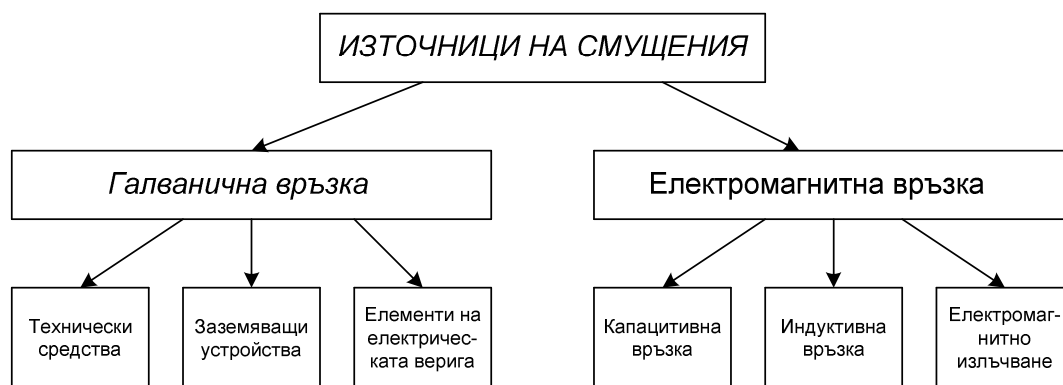
$$E = 377H$$

Тук 377 е вълновото съпротивление на вакуума (измерва се в Омега).

Границата между механизмите на проникване е подвижна. Могат да се обособят четири начина на проникване на електромагнитните смущения:

- галванична връзка;
- капацитивна връзка;
- индуктивна връзка;
- електромагнитно излъчване.

Начините на проникване могат да бъдат представени с помощта на схемата от фиг.5.

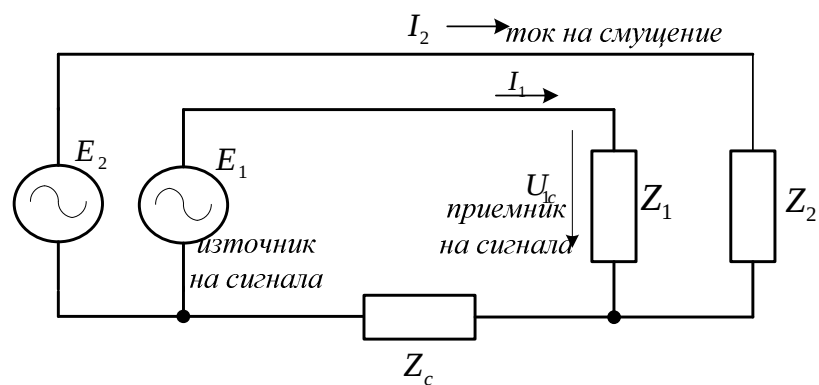


Фиг.5

Галваничният начин на проникване се осъществява чрез захранващата верига и чрез заземителния контур.

Влияние чрез захранващата верига

Ако две или повече електрически вериги имат общо съпротивление, то токът от едната верига създава пад на напрежение в другата верига, което се проявява като смущение (фиг.6).



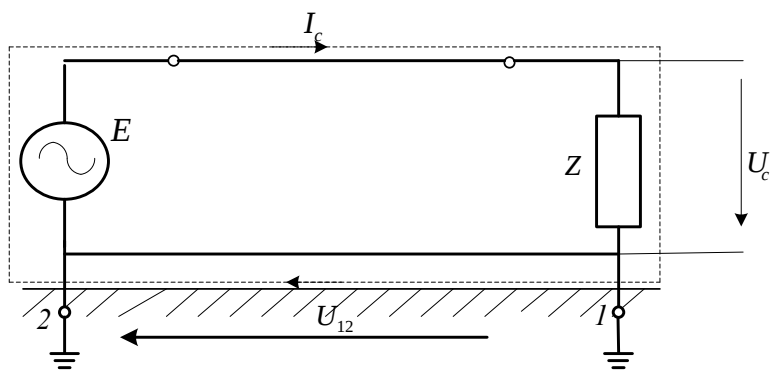
Фиг.6

Напрежението на смущение $\dot{U}_{1c}$ на приемника Z_1 е

$$\dot{U}_{1c} = (\dot{E}_1 - Z_c \dot{I}_2) \frac{Z_1}{Z_1 + Z_c} \quad (1)$$

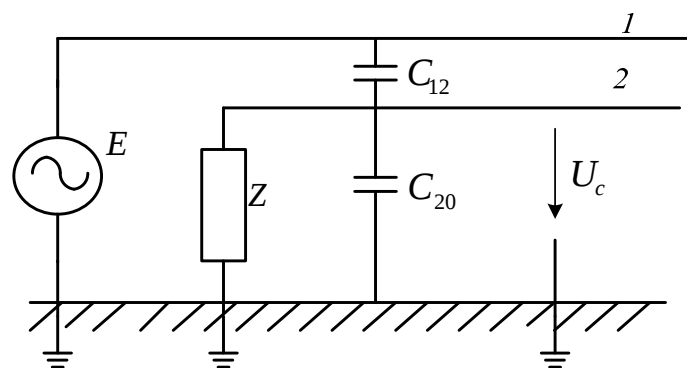
Влияние чрез заземителния контур

От гледна точка на електро безопасността електрическите съоръжения са заземени, като между точките на заземяване се появява потенциална разлика U_{12} , в резултат на което през заземителния контур протича ток на смущение I_c (фиг.7). Върху приемника на сигнала Z възниква напрежение на смущение U_c , което се наслажда върху входния сигнал.



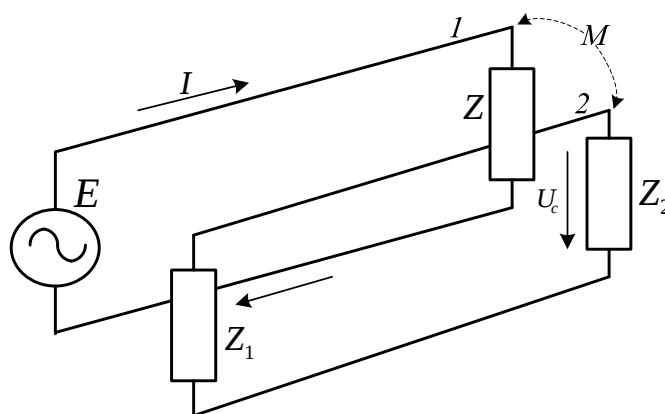
Фиг.7

Капацитивното проникване се осъществява чрез паразитни капацитети, които се получават между два контура с различни потенциали разлики (фиг.8). Проводникът 1 принадлежи на влияещия контур, а проводникът 2 – към контура изпитващ смущението. Тук C_{12} е капацитет между двата проводника, а C_{20} е капацитет на втория проводник спрямо земя.



Фиг.8

Индуктивното проникване се причинява от паразитни взаимни магнитни потоци между промишлени контури, получени при удар на мълнии или разряд на статично електричество (фиг.9). На фигурата са показани два индуктивно свързани контура с взаимна индуктивност M .



Фиг.9

Ако в първия контур има голямо изменение на тока $\Delta i / \Delta t$ (респективно на магнитния поток - $\Delta \Phi / \Delta t$) например при комутация, тогава във втория контур се индуцира напрежение на смущение

$$u_c = M \frac{\Delta i}{\Delta t} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Електромагнитно излъчване

Причината за електромагнитното въздействие се явява електромагнитната вълна излъчена от токови контури и разпространяваща се в околното пространство със скорост на светлината ($c=300000km/s$).

При въздействие на електромагнитната вълна на електропроводими обекти, вследствие на антенния ефект, възникват високо честотни напрежения, които непосредствено или косвено се явяват смущения в сигналния контур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направен е преглед на основните физични принципи на електромагнитни смущения и принципите на проникване им в електроенергийните обекти и системи.

Посочени са основните източници на електромагнитните смущения в електротехническите устройства.

Извършена е класификация на смущенията в зависимост от начините на възникването им.

Показани са начините и механизмите на проникването на електромагнитните смущения в електрическите обекти.

Оформена е примерна класификация на начините на проникване на електромагнитните смущения.

Статията осигурява основата за изследването на електромагнитната съвместимост ЕМС на електротехнически обекти.

ЛИТЕРАТУРА

1. *B Keiser: Principles of EMC, Artech House, 1987.*
2. *H W Ott: Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, A Wiley, 1988.*
3. *C R Paul: Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley, 1992.*
4. *VP Kodali: Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE Press, 1996.*
5. *Electromagnetic Compatibility (EMC), Guide to the Application of Directive 89/336/EEC, European Communities 1997.*
6. *E Habiger: Electromagnetic Compatibility (in German), Hüthig, 1998.*

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

Данни за авторите



доц. д-р Тодорка Вълева Червенкова

Технически Университет – София, Инженерно-педагогически факултет Сливен
катедра”Електротехника Електроника и автоматика”

гр. Сливен 8800, „Бургаско шосе”, 59

e-mail: tchervenкова@tu-sofia.bg

маг. инж. Ивелина Христова Христова

Технически Университет – София, Инженерно-педагогически факултет Сливен
докторант катедра”Електротехника Електроника и автоматика”

гр. Сливен 8800, „Бургаско шосе”, 59