

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ - СИГРЕ  
С К О П Ј Е

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

---

**СТУДИСКИ КОМИТЕТ 36**

**ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ ВЛИЈАНИЈА**

Претседател  
Д-р Леонид Грчев

Секретар  
М-р Весна Арнаутовски Тошева

Стручен известувач  
Д-р Велимир Филипоски

СТУДИСКИ КОМИТЕТ 36  
ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ ВЛИЈАНИЈА

СТРУЧЕН ИЗВЕСТУВАЧ: д-р Велимир Филипоски, Електротехнички факултет -  
Скопје

### **ИЗВЕШТАЈ НА СТРУЧНИОТ ИЗВЕСТУВАЧ**

Од проблематиката што ја обработува овој студиски комитет беа доставени и прифатени 8 труда кои се класифицирани како реферати и тоа:

Р 36-01 Д-р Леонид Грчев, д-р Велимир Филипоски, м-р Весна Арнаутовски Тошева, д-р Цветан Гавровски, м-р Владимир Димчев - Електротехнички факултет Скопје, Јордан Измирлиев, Јован Ѓориќ - Електростопанство на Македонија: "ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ЗОНАТА НА ОПАСНО ВЛИЈАНИЕ НА ПОВИШЕНИОТ ПОТЕНЦИЈАЛ НА ТЛОТО ОКОЛУ ВИСОКО-НАПОНСКИ ДИСТРИБУТИВНИ ТРАФОСТАНИЦИ ВРЗ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИТЕ ИНСТАЛАЦИИ: МОДЕЛИРАЊЕ И ПРИМЕНА "

Трудот ги третира проблемите на опасностите кои ги демнеат телекомуникационите (ТК) инсталации, како и нивните корисници, најчесто телефонски претплатници, кои се наоѓаат во околината на високонапонски трафостаници при појава на грешка во системот. Големината, на законски дефинираната зона на опасно влијание на ТК инсталации, дефинирана со еквипотенцијалната линија од 430 V, како што е истакнат во трудот, покрај другото, во голема мера зависи од присутноста и разгранетоста на подземната кабловска мрежа. Од тие причини авторите развиле современ компјутерски модел во кој се зема предвид, покрај основниот заземјувач, и влијанието на подземната кабловска мрежа на каблите чии заштитни, неизолирани плаштови се поврзани на главниот заземјувач. Бидејќи сите параметри, во урбана средина, што влијаат на распределбата на повишениот потенцијал кои треба да се внесат во еден теоретски модел не можат целосно да се определат, авторите се одлучиле за еден хибриден модел, во кој дел од параметрите се определуваат со мерења на повишениот потенцијал во однапред определени точки со симулирана струја на грешка. Во трудот се презентирани и дел од резултатите на примената на ваквиот модел на конкретна високонапонска трафостаница лоцирана во урбана средина.

Р 36-02 М-р Марија Кацарска, д-р Леонид Грчев, Електротехнички факултет - Скопје: "ОСВРТ НА НАЈНОВИТЕ СОЗНАНИЈА ЗА ВЛИЈАНИЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВРЗ ЧОВЕКОВАТА ОКОЛИНА "

Трудот ги третира проблемите сврзани со штетното влијание на електромагнетното поле врз човекот и неговата околина. Познато е дека електро-

магнетното поле учествува во формирањето на органските супстанции и во функционирањето на живите организми. Контраверзата за поврзаноста на електромагнетното (ЕМ) поле со ниски фреквенции (од 0 до 10 kHz) и појавата на одредени видови рак кај луѓето егзистира скоро дваесет години. Во трудот е даден осврт на најновите сознанија за влијанието на електричното и магнетното поле врз целокупната животна и работна околина на човекот.

**P 36-03 М-р Владимир Димчев, д-р Благој Ханџиски, д-р Цветан Гавровски - Електротехнички факултет Скопје, Јордан Измирлиев, Сашо Стефановски, Јован Ѓорик, Благоја Гајдарџиски - Електростопанство на Македонија: " МЕРЕЊА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИТЕ ПОЛИЊА ПОД ПРЕНОСНИТЕ И ДИСТРИБУТИВНИТЕ НАДЗЕМНИ ВОДОВИ**

Во овој труд се изнесени резултатите од мерењето на електричното поле под преносните 110 и 220 kV далноводи, како и под дистрибутивните 35 kV далноводи. Едновремено во трудот е презентирани и пресметковен модел со соодветни пресметковни резултати кои во овој случај даваат резултати за јачините на електричното поле. На крајот од овој труд е даден преглед на законската светска регулатива, како дел од напорите за максимална заштита на човекот и човечката околина.

**P 36-04 Д-р Сузана Лошковска, м-р Марија Кацарска, д-р Лидија Ололоска, д-р Леонид Грчев - Електротехнички факултет - Скопје: "СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА ВЛИЈАНИЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВРЗ ЛУЃЕТО"**

Користењето на електричната енергија со себе носи и несакани ризици. Ставајќи го човечкиот живот и здравје на преден план авторите во овој труд опшуваат систем за следење на влијанието на електромагнетните полиња врз човекот, неговата животна и работна околина. Во трудот е презентирани и практична примена на системот, во фазата на сегашниот развој главно пресметковна, поврзани со визуелизација на влијанието на електромагнетните полиња, предизвикани од уредите во домаќинствата и најновата техничка направа од доменот на телекомуникациите, мобилниот телефон

**P 36-05 Д-р Лидија Ололоска, д-р Сузана Лошковска, м-р Марија Кацарска, д-р Леонид Грчев - Електротехнички факултет - Скопје: "ПРЕЛИМИНАРНИ МЕРЕЊА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО ЖИВОТНА И РАБОТНА ОКОЛИНА НА ЧОВЕКОТ"**

Во овој труд се презентирани резултатите од прелиминарните мерењата на јачината на магнетното поле во животната и работната околина на луѓето. Како прототип на животната средина е одбран просторот на една просечна кујна во една повеќекатница, како дел до секојдневниот животен простор во кој, заради концентрација и инсталирана моќност на електричните уреди што се користат во домаќинствата, се регистрира и максимална вредност на јачината на магнетното поле.

P 36-06 Д-р Љубомир Николоски, д-р Горан Рафајловски - Електротехнички факултет Скопје, Венцислав Малиновски, Јордан Измирлиев, Велимир Сенковски, Мирослав Поповски - Електростопанство на Македонија: "СНИМАЊЕ НА ПРЕОДНИТЕ СОСТОЈБИ ВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ КАКО СРЕДСТВО ЗА ОЦЕНА НА КВАЛИТЕТОТ НА ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА "

Овој труд третира дел од проблемите на квалитетната електрична енергија сврзано со влијанието на истата на работата на уредите нивната доверливост и трајност. Во трудот е даден и опис на мерен систем чија основа е еден компјутер од популарната класа на личните сметачи. Во продолжение се прикажани дел од мерењета на 10 kV напонско ниво во ТС 110/10kV "Васил Главинов", поточно, прикажан е временскиот облик на напонот и струјата при појава на преодни процеси.

P 36-07 Д-р Љубомир Николоски, д-р Горан Рафајловски - Електротехнички факултет Скопје, Венцислав Малиновски, Јордан Измирлиев, Велимир Сенковски, Мирослав Поповски, Електростопанство на Македонија: "ИСТРАЖУВАЊЕ НА ВИШИТЕ ХАРМОНИЦИ ВО ДИСТРИБУТИВНАТА МРЕЖА "

Во овој труд на квалитетот на електричната енергија и нејзиното влијание се гледа преку изобличувањето на напонот. Тоа се прави преку хармониска анализа за што се користи специјален мерен систем со соодветен опис. Во трудот исто така се презентирани и резултатите од мерењата спроведени на 4 различни локации. Како причина за напонските изобличувања - појава на виши хармоници се наведуваат индустриските фазно управувани потрошувачи, но и се поголемиот број на уреди во домаќинствата во кои има вградени насочувачи и прекинувачки регулатори.

P 36-08 Д-р Горан Рафајловски, д-р Љубомир Николоски, - Електротехнички факултет Скопје, Венцислав Малиновски: "ВИШИ ХАРМОНИЦИ КАКО ПОВРАТНИ ВЛИЈАНИЈА ВРЗ МРЕЖАТА "

Во трудот е прикажано влијанието на вишите хармоници врз квалитетот на електричната енергија. Даден е пример како да се изврши аналитичка оценка на нивото на подносливоста. Нагласена е потребата за анализа на повратните влијанија на вишите хармоници пред одобрување на согласност за приклучување на еден нелинеарен потрошувач на енергетската мрежа. Елаборирани се основните принципи за контрола на хармониците како и примена на против мерки за нивно намалување.

## ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

1. Кои се проблемите поврзани со теоретско моделирање и мерења на терен при определување на зоната на опасно повишен потенцијал во околината на високнапонските трафостаници во урбана средина при грешка во системот.
2. Какви се искуствата и истражувањата во светот во врска со штетното влијание на опасно повишениот потенцијал околу високнапонските трафостаници во урбана средина врз телекомуникационите инсталации и телефонските претплатници како крајни корисници на истите.
3. Какви истражувања се можни кај нас за да се утврди степенот на ризик од магнетното и електричното поле во нашата средина во контекст на слични истражувања изведени во светот.
4. Како би требало да се постапи при денешната состојба со сознанијата за опасностите поврзани со секојдневна изложеноста на луѓето во работната и животната средина на магнетно и електрично поле.
5. Кога се очекува во нашата земја да профункционира поцелосен систем за следење на електромагнетните полиња во човековата работна и животна околина.
6. Дали има поцелсна анализа на јачината на магнетното и електричното поле во зоната на преносните далеководи во урбана средина.
7. Дали и колку еден централизиран систем за следење на процесите во електроенергетскиот систем би бил од корист при анализа на состојбите на мрежата пред настапување на хаварија.
8. Кои се светските искуства во врска со квалитетот на електричната енергија и каква е законската регулатива во тој поглед во светот и во нашата земја.

Проф. д-р Леонид Грчев  
Доц. д-р Велимир Филипошки  
Ас. м-р Весна Арнаутовски Тошева  
Доц. д-р Цветан Гавровски  
Ас. м-р Владимир Димчев  
Јордан Измирлиев\*  
Јован Ѓориќ\*  
Електротехнички факултет, Скопје  
Електростопанство на Македонија\*

**ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ЗОНАТА НА ОПАСНО ВЛИЈАНИЕ НА  
ПОВИШЕНИОТ ПОТЕНЦИЈАЛ НА ТЛОТО ОКОЛУ ВИСОКО-НАПОНСКИ  
ДИСТРИБУТИВНИ ТРАФОСТАНИЦИ ВРЗ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИТЕ  
ИНСТАЛАЦИИ: МОДЕЛИРАЊЕ И ПРИМЕНА**

**СОДРЖИНА**

Во трудот е претставена постапка за определување на зоната на опасно влијание на повишениот потенцијал на тлото поради грешка во електроенергетскиот систем во околина на високо-напонски дистрибутивни трафостаници во урбани средини врз телекомуникационите инсталации. Развиен е комплексен компјутерски модел кој во себе, покрај основниот заземјувач на ТС, ја вклучува и мрежата на подземни 10 kV кабли со неизолиран метален омотач и арматура, како и други пасивни подземни метални структури. Бидејќи не е можно целосно моделирање на сите параметри на урбаната средина, кои влијаат врз распределбата на потенцијалот на тлото, одделни параметри на моделот се определуваат врз основа на мерења на терен. Во трудот е прикажана примена на овој модел при определување на повишениот потенцијал околу ТС 110/35/10 kV "Запад" - Скопје.

**Клучни зборови:** Заземјување, Електроенергетски постројки, Мрежа на кабли, Повишен потенцијал, Телекомуникациони инсталации, Опасно влијание.

**ABSTRACT**

Paper presents computer model used for estimation of the zone of influence of earth potential rise (GPR) transferred to telecommunication installations in the case of a ground fault in the source substation. Since, the computer model doesn't include all elements of the urban environment, some parameters settings are based on the measurements that are performed in characteristic points around the substation which serve to adjust the computer model. The computer model is used for estimation of the ground potential rise around 110/35/10 kV substation "Zapad" Skopje. Final results of the computer analysis in the case of a ground fault in the source substation show high influence of the underground distribution cable network on the

limited 430 V contour of the zone of dangerous influence, are presented, and are in very good agreement with the experimental results.

## 1 ВОВЕД

Електроенергетските постројки претставуваат опасност за телекомуникационите инсталации кои од безопасниот сектор влегуваат во секторот на висок напон. Безбедноста на луѓето и опремата во контакт со телекомуникационите инсталации, како во опасниот сектор, така и на далечни локации, може да биде сериозно загрознена во случај на појава на повишен потенцијал на постројката, поради следните можности:

- изнесување на повишениот потенцијал на постројката на далечни ТК уреди кои не се во рамките на секторот на висок напон,
- внесување на низок потенцијал во секторот на висок напон,
- појава на повишен напон помеѓу телекомуникационите проводници, плаштот и арматурата на кабелот и земјата,
- термичко преоптоварување на ТК каблите.

Повишен потенцијал на тлото околу електроенергетски постројки кои припаѓаат на мрежа со директно заземјена неутрална точка се јавува при воспоставување на доземна струја на грешка преку заземјувањето на постројката. Границата на зоната на опасно влијание врз телекомуникационите инсталации е еквипотенцијалната линија 430 V во однос на неутрална земја [1]. Секторот на постројката и секторот надвор од постројката во зоната со потенцијал над 430 V е зона на опасно влијание [1].

Доколку во околината на заземјувачот на постројката не постојат други подземни метални структури, распределбата на повишениот потенцијал во подрачјето надвор од оградата на постројката опаѓа со зголемување на растојанието од постројката и истиот се распределува по површината на земјата во вид на, така наречена, "напонска инка". Еквипотенцијалните линии воглавно ја следат формата на заземјувачот во неговата близина и стануваат кружни со оддалечувањето од него.

Бидејќи 110/x/10 kV трафостаници сè почесто се лоцираат длабоко во урбани средини, проблемот на нивното опасно влијание се јавува кај сè поголем број претплатнички телекомуникационите инсталации. Заземјувачките системи на таквите трафостаници се состојат од сопствениот заземјувач на постројките во галванска врска со пространа и комплексна мрежа на неизолирани метални плаштови и арматури на подземни 10 kV кабли. Овие заземјувачки системи се испреплетени со други, уште попространи и покомплексни, мрежи на метални структури типични за урбаната средина составени од водоводни и топоводни цевки, кабли за телекомуникации и напојување, локални заземјувачи, армирачко железо во темелите на објектите и др.

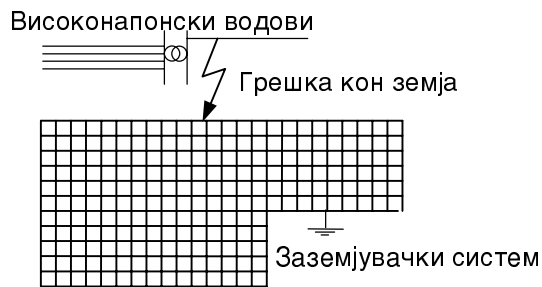
Поради сето тоа определувањето на зоната на опасното влијание на повишениот потенцијал тлото врз телефонските инсталации околу ваквите ТС е комплексен проблем. Од една страна, при изведување на мерења на потенцијалот на тлото се поставуваат многубројни објективни тешкотии. Од друга страна, сите елементи на урбаната средина кои влијаат врз распределбата на потенцијалот не може да се внесат во теоретски модел, како поради нивната комплексност, така и поради тоа што некои податоци за подземните метални структури во урбаната средина можат да бидат непознати. Од тие причини, согласно со повеќегодишните истражувања на Електротехничкиот факултет во Скопје, развиен е компјутерски

модел на сложениот заземјувачки систем, кој вклучува мрежите на подземните кабли и на други метални структури, при што дел од параметрите се нагодуваат со резултати од мерења на терен во минимален број однапред дефинирани карактеристични точки.

## 2 МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ НА СЛОЖЕНИ ЗАЗЕМЈУВАЧКИ СИСТЕМИ

### 2.1 Модел на едноставен заземјувач

За моделирање на заземјувачкиот систем е применета метода со која истиот се претставува како множество од, меѓусебно произволно, поврзани или неповрзани праволиниски цилиндрични проводни електроди со произволна положба, слика 1.



Сл. 1. Модел на основен заземјувач во ЕЕ постројка

Напонот на заземјувачкиот систем  $u$  и непознатата распределбата на одводните струи на елементите  $i_j, j = 1, 2, \dots, n$ , при тоа се поврзани со релацијата

$$[1] \cdot U = [r] \cdot [i] \quad (1)$$

каде е  $[1]$  единичен вектор со  $n$  елементи,  $[r]$  е  $n \times n$  матрица со елементи кои ги претставуваат сопствените и меѓусебните ефективни отпорности помеѓу елементите на заземјувачкиот систем. Овие ефективни отпорности го содржат и влијанието на евентуалната нехомогеност на земјата.

Кога (1) се реши за единичен напон, и со тоа се определи распределбата на струјата, реалната распределба на струјата се определува врз основа на познатата реална инјектираната струја во заземјувачкиот систем определена за дадената точка на електроенергетскиот систем.

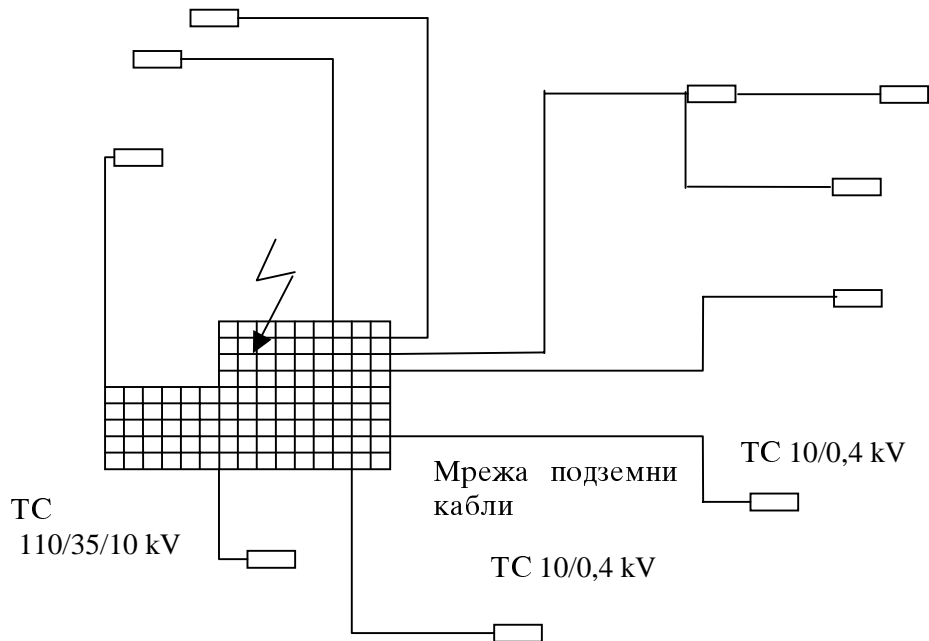
### 2.2 Модел на заземјувач поврзан на мрежа од дистрибутивни подземни метални неизолирани кабли

Сложен модел на заземјувач, на кого е поврзана мрежа од неизолирани кабли е развиен за случајот на дистрибутивен систем напојуван преку мрежа од подземни кабли, слика 2.

За таа цел прифатен е модел на кабел, слика 3, со кој се поврзува ЕЕ и дистрибутивните постројки 10/0,4 kV трафостаници со подолжна импеданса. Првите кабли се директно приклучени на заземјувачот на ЕЕ постројката и можно е нивно натамашно разгранување во сложена мрежа. Распределбата на потенцијалот долж плаштот на каблите се определува врз основа на теорија на водови со загуба врз основа на мерени параметри. Во одделни точки, според извршените контролни



мерења на повишениот потенцијал се форсира напонот на кабелот од што се определува коефициентот на придушувањето.

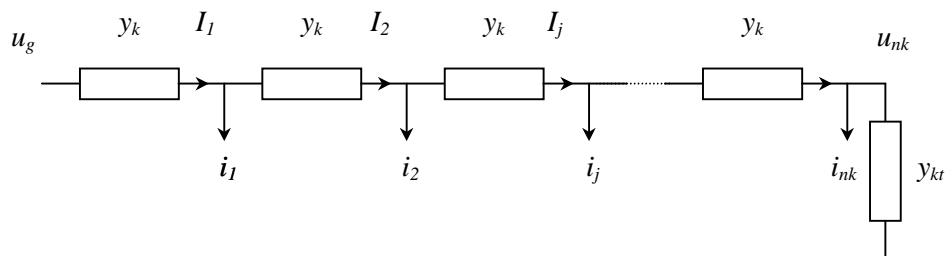


Сл. 2. Модел на сложен заземјувач во ЕЕ постројка составен од основен заземјувач поврзан со мрежа на неизолирани кабли до дистрибутивните трафостаници.

Со модификација на релацијата (1) можно е во системот да се вклучат и други подземни проводни структури, поврзани или неповрзани, на пример мрежа на неизолирани подземни дистрибутивни кабли, водоводни цевки и слично според

$$\begin{pmatrix} R_{zz} & R_{zk} & R_{zL} & R_{zO} & R_{zU} & R_{zC} \\ R_{kz} & R_{kk} & R_{kL} & R_{kO} & R_{kU} & R_{kC} \end{pmatrix} \quad (2)$$

каде  $R_{zz}$  и  $R_{kk}$  претставуваат субматрици на сопствените отпорности меѓу сегментите



Сл.3 Модел на неизолиран метален кабел изделен на сегменти

на заземјувачот, односно каблите, а  $R_{kz}$  и  $R_{zk}$  претставуваат субматрици на меѓусебните отпорности меѓу сегментите на заземјувачот и кабелот и обратно.

### 3 РАСПРЕДЕЛБА НА ПОТЕНЦИЈАЛОТ НА ТЛОТО ОКОЛУ ТС 110/35/10 kV "ЗАПАД"

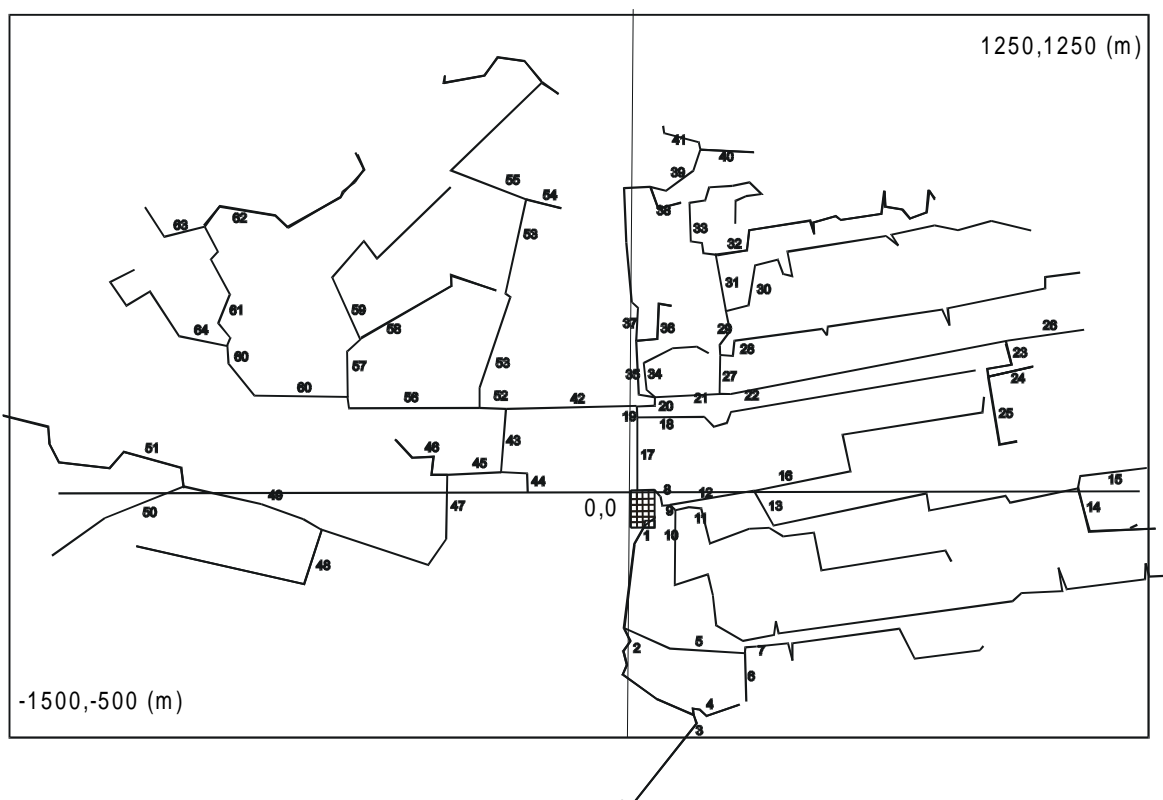
ТС 110/35/10 kV "Запад" - Скопје е карактеристичен електроенергетски објект со поголем број приклучни подземни кабли на 10 kV напонско ниво, при што со едната (источната) страна се наоѓа во високо урбанизирана средина, а со другата (западната) страна е на обалата на реката Вардар, каде што се простира значително послабо урбанизирана средина.

#### 3.1 Меродавна струја на куса врска

Меродавни вредности на струјата на куса врска за определување на опасното влијание е струјата на еднофазна куса врска на 110 kV собирници во трафостаницата. Меродавната струја на еднофазна куса врска на 110 kV собирници на ТС 110/35/10 kV " Запад" во студијата за струи на куси врски на Електростопанство на Македонија е проценета на 11,011 kA (според состојбата во 1997 година). Редукциониот заштитен фактор на јажињата е усвоен на конзервативна вредност од 0.98. Така, за струјата на куса врска низ сложениот заземјувачки систем кон далечна земја е добиена вредност од:

$$I_z = r \cdot I_{KV} = 11,011 \cdot 0.98 = 10,791 \text{ (kA)}.$$

#### 3.2 Моделирање на сложениот заземјувачки систем на ТС 110/35/10 kV " Запад"



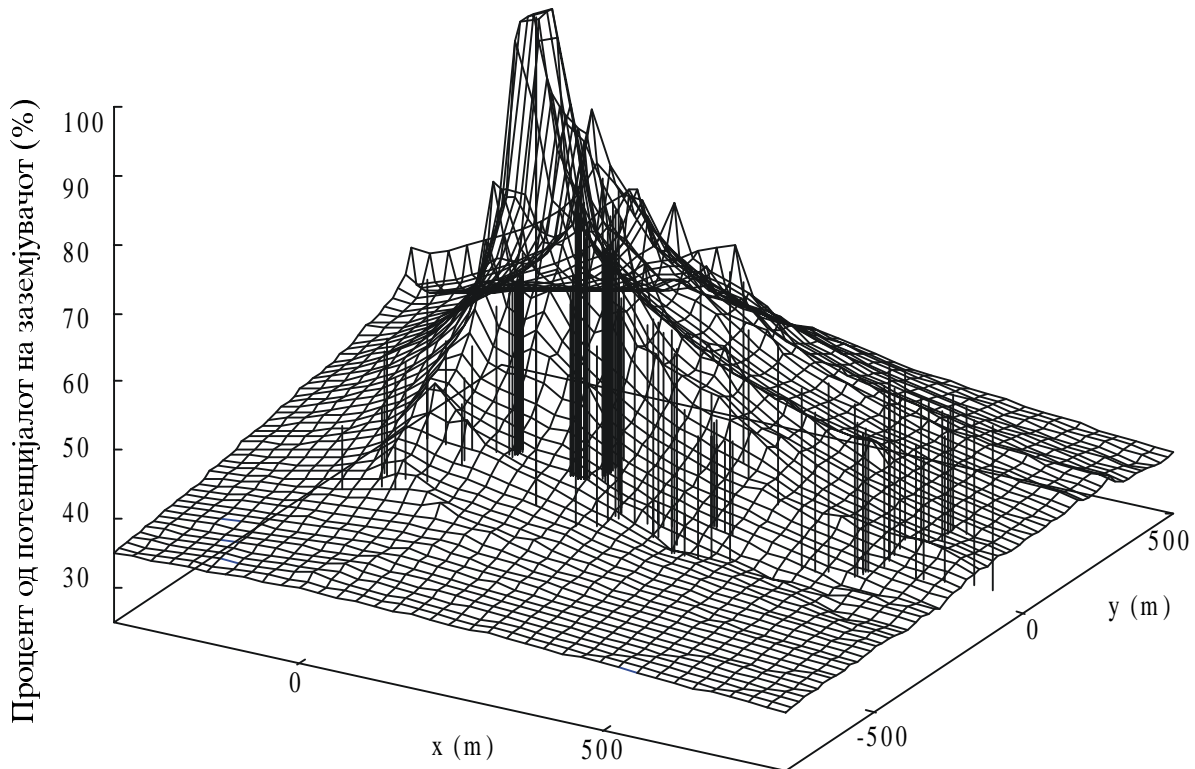
Сл. 4. Просторен приказ на моделот на сложениот заземјувачки систем составен од основниот заземјувач и од мрежа 10 kV кабли на ТС 110/35/10 kV "Запад"



повеќе, во литературата, се среќаваат трудови кои ја регистрираат појавата на еквипотенцијализација, на повишен напон, на тлото во големите урбани средини.

### 3.3 Пресметани вредности на повишениот потенцијал во околина на ТС 110/35/10 kV "Запад"

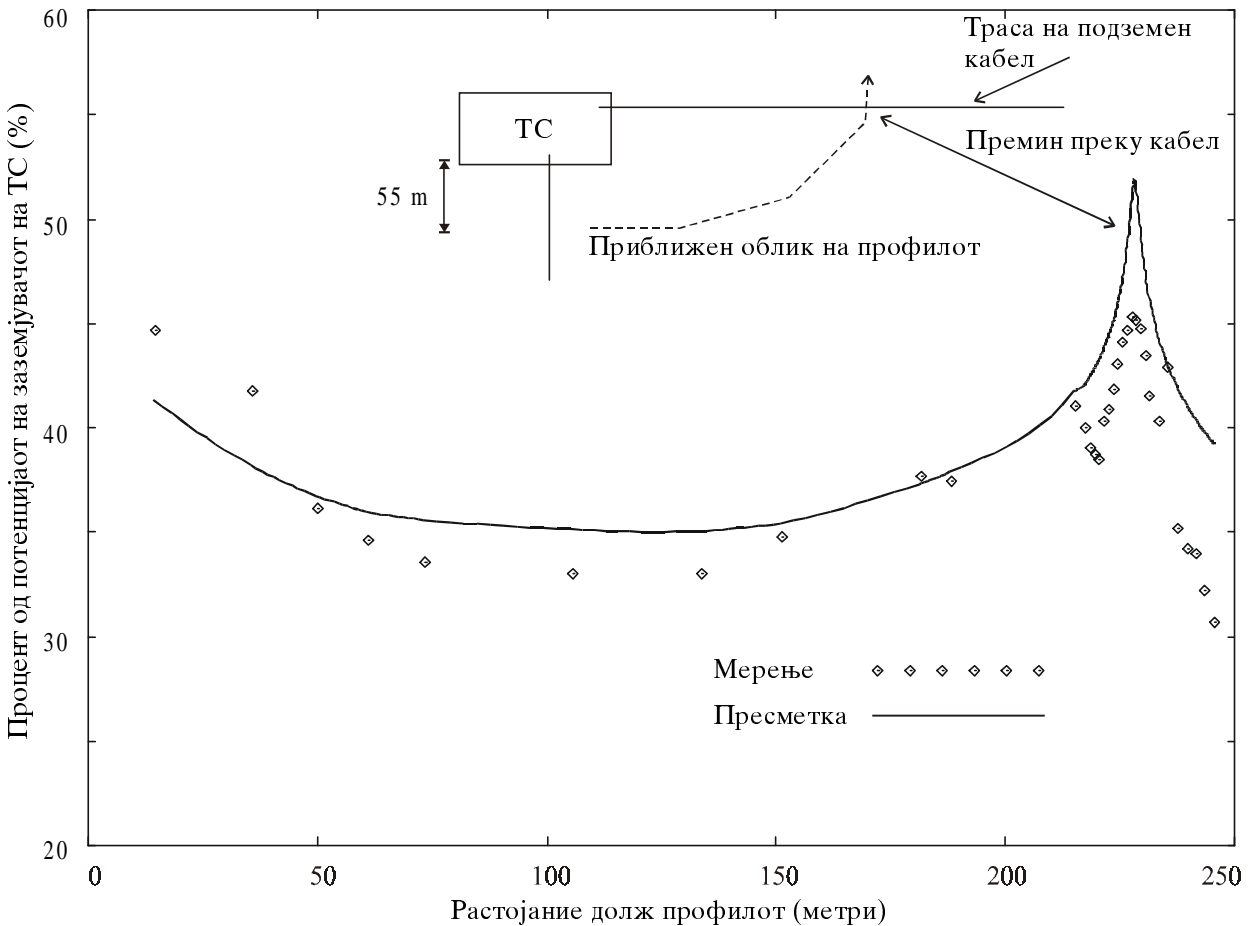
На слика 6 се претставени компјутерски пресметаните, нормализирани, вредности на повишениот потенцијал на тлото околу ТС "Запад" - Скопје, (на слика прикажани со мрежа) и измерените нормализирани вредности на повишениот потенцијал (на слика прикажани со вертикални линии).



Сл. 6. Просторна распределба на нормализираните вредности на повишениот потенцијал околу ТС "Запад" - Скопје (пресметан потенцијал - мрежа; измерени вредности - вертикални линии)

Од сликата, забележливо е значително покачување на нивото на потенцијалот во оддалечените точки од ТС во високо урбанизиран простор (на слика позитивни радијални растојанија), во однос на помалку урбанизираниот простор (на слика со негативно радијално растојание).

За илустрација на сликата 7 е прикажана распределбата на пресметаниот (со полна линија) и измерениот (со точки) повишен потенцијал на правец во близина на ЕЕ објект приближно прикажан на сликата.



Сл. 7. Распределбата на пресметаниот (со полна линија) и измерениот (со точки) повишен потенцијал долж профил во близина на ЕЕ објект.

Анализата на слика 7 покажува задоволително совпаѓање меѓу пресметаните и мерените вредности. На сликата кон крајот на профилот е видно силното влијание на подземниот кабел при премин преку трасата на кабелот.

#### 4 ЗАКЛУЧОК

Во урбани средини, покрај основниот заземјувач на ЕЕ постројката, како дел на заземјувачкиот систем функционира и разгранета мрежа од вкопани дистрибутивни кабли со неизолиран метален плашт и арматура. Со моделирањето и мерењата на терен на распределбата на потенцијалот околу ЕЕ постројката утврдено е значително влијание на заземјените кабли и останати метални структури на обликот и големината на опасната зона за ТК инсталациите дефинирана со еквипотенцијалната линија од 430 V. Едновременно се забележува и влијанието на другите подземни метални структури, типични за урбаната средина, составени од водоводни цевки, кабли за телекомуникации и напојување, локални заземјувачи, армирачко железо во темелите на објектите и др. Овие вкопани метални структури влијаат на изедначување на потенцијалот (еквипотенцијализација) во урбаната средина. Овој ефект се појавува во мерењата како покачување на "општото" ниво на потенцијалот во релативно оддалечените точки од ТС, на ниво кое скоро и не се менува (намалува) со зголемување на растојанието од ТС.

Потребата за анализа на состојбите на повишен потенцијал на тлото околу ЕЕ постројки лоцирани во урбани средини е повеќе од очигледна. Правилно дефинираната зона на повишен потенцијал, од една страна ги намалува можностите за негово опасно влијание на телекомуникационите линии и што е уште и позначајно врз луѓето како крајни корисници и од друга страна ги намалува трошоците за заштита на истите.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] JUS N.CO.104, "Заштита на телекомуникациони постројки од влијание на електроенергетски постројки. Воведување на телекомуникациони водови во електроенергетски постројки", 1983.
- [2] J. Нахман, "Уземљење неутралне тачке дистрибутивних мрежа", Научна књига, Београд, 1980.
- [3] J. Nahman, D. Salamon "Effects of the metal sheathed cables upon the performances of the distribution substations grounding systems", IEE Proceedings, Vol. 7, No. 3, July 1992, pp. 1179-1184.
- [4] L.Grcev, V.Filipovski, "Estimation of the zone of influence of earth potential rise on telecommunication installations in urban environment", EMC'96 Roma, Vol II.,T-6, September 1996, pp. 862-866.

# **МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ С К О П Ј Е**

## **ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ**

---

М-р Марија Кацарска  
Проф. д-р Леонид Грчев  
Електротехнички факултет - Скопје

### **ОСВРТ НА СОВРЕМЕНИТЕ СОЗНАНИЈА ЗА ВЛИЈАНИЕТО НА МАГНЕТНОТО И ЕЛЕКТРИЧНОТО ПОЛЕ ВРЗ ЗДРАВЈЕТО НА ЛУЃЕТО**

#### **СОДРЖИНА**

Во трудот е даден осврт на најновите сознанија за влијанието на електричното и магнетното поле врз целокупната животна и работна околина на човекот.

#### **АБСТРАКТ**

This paper presents the recent investigations in electric and magnetic fields influences on the entire human's environment.

**Клучни зборови:** електромагнетно поле, електромагнетна компатибилност, ризик, човекова околина.

#### **1. ВОВЕД**

Познато е дека електромагнетното поле учествува во формирањето на органските супстанции и во функционирањето на живите организми. Контраверзата за поврзаноста на електромагнетното (ЕМ) поле со ниски фреквенции (од 0 до 10 kHz) и појавата на одредени видови рак кај луѓето егзистира скоро дваесет години. Докажано е дека промените во природната електромагнетна околина на живите организми доведуваат до физичко-хемиски и биолошки ефекти кои во некои случаи можат да поминат и во ефекти неповолни по здравјето на луѓето. Овие промени можат да доведат до непожелни биолошки ефекти кои не мораат веднаш да се манифестираат како здравствени проблеми, но можат да влијаат, на пр., на имунолошкиот систем, на системот за репродукција и др. До доказите е дојдено со испитување на последиците од природните и вештачките промени на електромагнетната околина низ многубројни епидемиолошки студии спроведени во неколку земји на Европската заедница (ЕЗ), како и во САД и Канада. Истовремено вршени се и ла-

бораториски испитувања со животни изложувани на ЕМ полиња со различни фреквенции [1,2].

Како одговор на загриженоста на пошироката заедница, одредени организации и здруженија кои се занимаваат со производство, пренос и дистрибуција на електрична енергија и оние кои произведуваат уреди кои што зрачат ЕМ поле во просторот преземаат различни активности. Меѓу нив, најзабележителна е поддршката на научните истражувања и обезбедување на релевантни информации за влијанието на ЕМ поле врз човековата околина. За таа цел одделни организации периодично издаваат публикации кои се однесуваат на оваа област, како што е "Electric Power Transmission and the Environment: Fields, Noise and Interference" издадена од CIGRE [3]. Некои организации имаат развиено комплетен пристап кој вклучува одредена регулатива во која се земаат во предвид и намалување на емисијата на ЕМ поле кога се дизајнираат и инсталираат нови електрични уреди и инсталации. Во овој труд е даден осврт на најновите сознанија за влијанието на електромагнетното поле врз целокупната животна и работна околина на човекот.

## 2. НАЈНОВИ СОЗНАНИЈА

Во најновите епидемиолошки студии објавено е дека е најдена статистички знајна врска помеѓу појава на некои видови рак и Алцхајмерова болест и магнетното поле во животната околина [4-6]. Меѓутоа, во ниедна од студиите не е направена директна проценка на ризикот од појава на овие болести поради изложеност на магнетното зрачење. Заради тоа, потребно е да се спроведат понатамошни истражувања за одредување на јачината на магнетното поле која би довела до ризик по здравјето, со што би можело да се поткрепат објавените заклучоци.

Една епидемиолошка студија, објавена 1996 год., објавува резултати за статистички значајна зависност меѓу електричното поле и последиците по здравјето на луѓето [7]. Со тоа, по 25 год. повторно во центарот на вниманието се враќа електричното поле.

Како поткрепа на епидемиолошките студии, ширум светот се вршат и многубројни лабораториски истражувања за биофизичките механизми, нивото на калциум во келиите, мелатонинот, промоцијата на тумори и рак и др..

На Медицинскиот факултет во Нови Сад, Југославија, вршени се испитувања на ефектите од продолжено изложување на глумци на ЕМ поле. [8]. Резултати објавени 1997 год. укажуваат на можни ефекти на репродуктивната способност на животните, како и на влијание на диурезата, жлездите со внатрешно лачење и на некои ензими во плазмата.

Во ситуација кога ризикот по здравјето на луѓето сèуште не е поптецизно определен, широко е прифатена превентивна стратегија на претпазливост позната како "претпазливо одбегнување" (prudent avoidance). Стратегијата се базира на фактот дека постојат доволно показатели за можните негативни влијанија врз здравјето на луѓето, за што предупредуваат досегашните истражувања. Чекорите кои ја сочинуваат стратегијата "претпазливо одбегнување" се едноставни:

- зголемување на оддалеченоста од изворите на ЕМ полиња,
- намалување на времето поминато во средини со силни ЕМ полиња, и
- намалување на јачината на емитираните ЕМ полиња.

Овие чекори се препорачуваат секогаш кога тоа е можно и при разумна цена



на чинење на предвидената акција.

Сé поголем број организации во светот ја прифаќаат и ја применуваат оваа стратегија, но на различни нивоа.

Одреден број организации во Северна Америка на различен начин го применуваат овој принцип. Некои само ја следат состојбата преку комисији специјално формирани со таа намена, а други и преку воведување на конкретни мерки во планирањето и развојот.

Во Канада, од 1987 год., организацијата Hydro-Quebec која е производител и дистрибутер на електрична енергија, во соработка со Меѓуминистерски Комитет за следење на студиите за ЕМ полиња кои ги извршува Hydro-Quebec (Inter-ministerial Committee for the Follow-up of Hydro-Quebec Studies of Electric and Magnetic Fields) го спроведува концептот на "претпазливо одбегнување" во однос на новата електрична опрема [9]. Во периодот од 1986 до 1996 год., Hydro-Quebec годишно вложувал просечно по 2 милиони \$ за мерења, истражување, планирање и развој на уреди кои ќе ги намалат постоечките јачини на ЕМ поле од преносните и дистрибутивните електроенергетски системи и градење на нови конструкции кои ќе зрачат ЕМ поле со помали јачини. Спроведена е и епидемиолошка студија под раководство на G. Theriault чии што резултати се објавени 1994 год. [1].

И во одредени држави од САД се применува спомнатата концепција. Во државите New York и Florida, воспоставена е граница на дозволената јачина на електричното и магнетното поле за повеќето главни електропреносни системи. Во Wisconsin и California се применуваат прописи за намалување на ЕМ зрачење и користење на структури кои зрачат ЕМ поле со помала јачина секогаш кога се градат нови електропреносни системи.

Во Италија, медиумите играат клучна улога во јавното мислење за можното влијание на нискофреквенциското ЕМ поле врз здравјето на луѓето. Постојано се потенцира секоја изјава за биолошките ефекти на полињата зрачени од далноводите и проблемот се презентира како сериозна закана за човековото здравје. Поради тоа, ENEL (Државна организација за производство и дистрибуција на електрична енергија на Италија), во соработка со Универзитетот во Рим, презема опсежни истражувања во оваа област. Развиени се програмски пакети за пресметување на електричното и магнетното поле од различни извори и за проценка на густината на индуцираната струја во човековото тело кога тоа е изложено на ЕМ поле. Развиени се посебни мобилни единици за континуирано мерење на електричното и магнетното поле во различни средини и направена е студија во која се опфатени различни работни и животни околии. Вршени се мерења на јачината на електричното и магнетното поле во домашни, јавни и рекреациони околии. Во работна околина мерења се вршени во електрични централи, трансформаторски станици, како и во други индустриски објекти. Истражувањето завршено 1996 год. укажува дека и електричното, исто како и магнетното поле, предизвикува индуцирано електрична струја во човековото тело. Во зависност од електромагнетните особености на ткивото јачината на струјата е различна. Во ткивата со помала специфична проводност полесно продира надворешното електрично поле. Студијата покажала дека само 0.54% од населението во Италија е изложено на ЕМ поле зрачено од далноводи [10].

Од друга страна пак, во Шведска, една државна институција, Шведскиот институт за заштита од радијација (Swedish Radiation Protection Institute - SSI), презема акција за управување со овој проблем. SSI ги штити луѓето, животните и околината од штетното влијание на радијацијата. Тоа се постигнува со контрола, истражување, информирање и врз база на специјален акт наречен Swedish Radiation Protection Act.

SSI може да издава законска регулатива заснована на тој акт. Од средината на 80-тите години на овој век лабораториите на SSI имаат водечка улога во светот во развивањето на инструменти, методи за тестирање и стандарди во оваа област. Треба да се напомене дека концепцијата на "претпазливо одбегнување" е изразена во препораки издадени од SSI за нискофреквентни ЕМ полиња, а не како законска регулатива. Во документот издаден од SSI објавени се критериумите според кои Институтот ќе се раководи во донесувањето на одлуките во оваа област во услови на недокажан ризик [11].

Општа насока, во сите држави кои активно го разгледуваат проблемот со ЕМ зрачење е развивање на внатрешна политика урамнотежена меѓу воспоставување на ограничување на јачината на електричното и магнетното поле и преземање на превентивни активности на одбегнување на ризикот.

За жал, во Македонија, сèуште не постои поопширна акција за управување со овој проблем. На Електротехничкиот факултет во Скопје преземени се почетни чекори за прелиминарни мерења на јачината на електричното и магнетното поле во одредени животни и работни околии (работна кујна, трафостаница, во близината на далновод) [12]. По осамостојувањето на Република Македонија не се донесени никакви нови прописи и препораки за контрола и ограничување на јачината на зраченото ЕМ поле.

### **3. ЗАКЛУЧОК**

Многубројните истражувања во светот покажуваат дека постои статистичка врска помеѓу појава на некои болести(вклучувајќи канцер, Алсјахмерова болест, леукемија и др.) и секојдневната изложеност на магнетното и електричното поле во животната и работната околина. Досегашните сознанија укажуваат дека ризикот по здравје постои, но сèуште нема сознание за големината на тој ризик. Се очекува дека истражувањата, кои се во тек, ќе ги определат граничните дозволени вредности на јачината на поле како и времето на изложеност за кои ризикот по здравје нема да псотои или ќе биде занемарливо мал.

Како припрема за стандардите кои ќе ги определат дозволените интензитети на полето, во светот се веќе спроведени детални мерења во различни средини. Она што во нашата средина преостанува да се направи се истражувања кои треба да утврдат колкави се интензитетите на полето на кои сме секојдневно изложени, како и кои се местата со поголем ризик од нарушување на здравјето поради интензивна изложеност на магнетно и електрично поле.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] М. Кацарска, Л. Грчев, "Влијание на магнетното поле во животната и работната околина врз здравјето на луѓето", *Прво совешување на МАКО СИГРЕ*, Струга, Македонија, Септември 1996
- [2] CIGRE Working group 36.06, "Manegment of the EMF Issue", *Cigre Session 1996*, Paris, France, 1996
- [3] CIGRE Working group 36.01, "Electric Power Transmission and the Environment: Fields, Noise and Interference", CIGRE Edition, Paris, France, 1993

- [4] A.B. Miler, T. To, D.A. Agnew, C. Wall and L.M. Green, "Leukemia following occupational exposure to 60-hz electric and magnetic fields among ontariomutlity workers," *American Journal of Epidemiology*, Vol 144, pp 150-160, 1996
- [5] P.F. Coogan, R.W. Clapp, P.A. Newcomb, T.B. Wenzel, G. Bogdan, R. Mittendorf, J.A. Baron and M.P. Longecker, "Occupational exposure to 60-hertz magnetic fields and risk of breast cancer in women," *Epidemiology*, Vol 7, pp. 459-464, 1996
- [6] E. Sobel, M. Dunn, Z. Davanipour, Z. Quian and H.C. Chui, "Elevated risk of alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure," *Neurology*, 1996
- [7] J. Guenel, J. Nicolau, E. Imbernon, A. Chevalier and M. Goldberg, "Exposure to 50-hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among french electric utility workers," *American Journal of Epidemiology*, Vol 144, pp 1107-1121, 1996
- [8] B. La`eti}, R. Kova~evi}, G. Grubor-Laj{i}, M. Matavulj, K. Stankov, "Efekti prolongiranog izlaganja pacova elektromagnetskom polju", *Zbornik radova sa savetovanja Elektromagnetska kompatibilnost-EMC*, Beograd, Yugoslavija, jun 1997
- [9] C. Cardinal, "Electric and Magnetic Field Effects: Reflections on how to Manage the Issue - a Utility's Point of View", Panel 4, *Cigre Session 1996*, Paris, France, 1996
- [10] R. Conti, L. D'Ajjelo and P. Nicolini, "ENEL's Exprience in Assesing Occupational and Residential Exposure to Power Frequency Electric and Magnetic fields", Cigre Group 36, *Cigre Session 1996*, Paris, France, 1996
- [11] L.E. Poulsson, "Electric and Magnetic Field Effects – from a Regulator's Point of View", Panel 4, *Cigre Session 1996*, Paris, France, 1996
- [12] Л. Ололоска, С. Лошковска, М. Кацарска, Л. Грчев, "Прелиминарни мерења на магнетното поле во животна и работна околина на човекот", *Второ советување на МАКО СИГРЕ*, Струга, Македонија, Септември 1998

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ  
СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

---

М-р. Владимир Димчев  
Проф. д-р. Благој Ханџиски  
Доц. д-р. Цветан Гавровски  
Електротехнички факултет - Скопје

Јордан Измирлиев дипл.ел.инж.  
Сашо Стефановски дипл.ел.инж.  
Јован Ѓекиќ дипл.ел.инж.  
Благоја Гајдарџиски дипл.ел.инж.  
ЈП Електростопанство на РМ - Скопје

**МЕРЕЊА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИТЕ ПОЛИЊА ПОД  
ПРЕНОСНИТЕ И ДИСТРИБУТИВНИТЕ НАДЗЕМНИ ВОДОВИ**

**СОДРЖИНА**

Мерени се електромагнетните полиња (ЕМП) под преносните 110 и 220 kV далноводи и под дистрибутивните 35kV далноводи. Изработени се компјутерски програми за пресметка на ЕМП под далноводи, кои ќе послужат за истражувања на можностите за намалување на влијанието на ЕМП.

**Клучни зборови:** електрично поле, магнетно поле, мерења на ЕМП, намалување на ЕМП

**MEASUREMENTS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELDS UNDER POWER  
TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OVERHEAD LINES**

**ABSTRACT**

The measurements of electromagnetic fields (EMF) under 110kV, 220kV transmission lines and 35kV distribution lines are performed. The computer programs for calculation of EMF under transmission lines are made, they are useful for investigation of the possibilities for EMF reduction.

**Key words:** electric field, magnetic field, measurements of EMF, reduction of EMF

## 1. ВОВЕД

Влијанието на електромагнетните полиња врз здравјето на луѓето во голем број индустриски развиени земји се истражува скоро 30 години. Некои земји истражувањата ги насочуваат повеќе кон биолошкото дејство на електромагнетните полиња врз живите организми, отколку кон техничкиот аспект на ова прашање. Фирмите чија дејност е пренос и дистрибуција на електричната енергија, во соработка со електротехничките истражувачки институти и понатаму ги истражуваат и мерат електромагнетните полиња, како и можностите за редуцирање односно со редизајнирање на електричната опрема да се намали нивното влијание.

Истражувањата поврзани со мерењата на електромагнетните полиња и нивното можно намалување во нашата земја се на почеток и ако некои почетни согледувања се направени [1, 2]. Во одредени градски средини 110kV далноводи минуваат во непосредна близина на објектите за живеење, поради што е потребно темелно проучување на овој проблем кој би опфатил не само мерења на електромагнетните полиња во даден момент, туку нивно пратење во текот на подолг период како и разгледување на достапните технички можности за нивно намалување.

Во трудот е даден приказ на мерените електрично и магнетно поле (при фреквенција од 50Hz валиден е квазистационарниот пристап и се разгледуваат две независни полиња) под преносните и дистрибутивните надземни водови. Врз основа на теоретскиот модел [2], развиени се компјутерски програми за пресметка на електричното и магнетното поле за различни типови на далноводни столбови.

Кај трофазните електроенергетски водови резултантото електрично и магнетно поле околу проводниците во било која точка, е претставено со вектор кој ротира и опишува елипса при една периода на напонот (или струјата). Поголемата оска на елипсата ја дава максималната вредност на електричното, односно магнетното поле:

$$E_{\max} = 0,5 \cdot \left[ \sqrt{(E_{xR} - E_{yI})^2 + (E_{xI} + E_{yR})^2} + \sqrt{(E_{xR} + E_{yI})^2 + (E_{xI} - E_{yR})^2} \right], \quad (1)$$

каде што индексите  $x$  и  $y$  ги означуваат хоризонталните и вертикалните компоненти, а  $R$  и  $I$  ги симболизираат реалната и имагинарната компонента на полето (ефективна вредност) во дадена точка.

Величина која ја мерат инструментите е резултантото електрично поле  $E_R$  (односно магнетно поле  $B_R$ ):

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}, \quad (2)$$

каде што  $E_x$ ,  $E_y$  и  $E_z$  се ефективните вредности на трите ортогонални компоненти на полето. Во случај на електричното поле разликите помеѓу  $E_{\max}$  и  $E_R$  се занемарливи. Во случајот на двојни далноводни линии максималната вредност  $E_{\max}$  е неколку проценти помала од  $E_R$ . Резултантото магнетно поле  $B_R$  е сегогаш поголемо од  $B_{\max}$  [10].

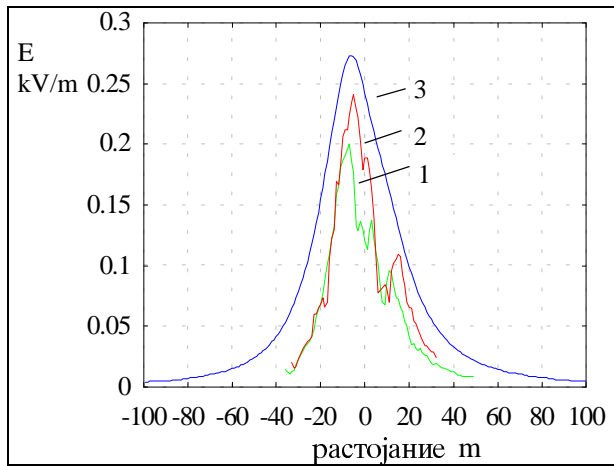
При споредба на пресметаните со измерените вредности проблем може да биде висината на далноводот, бидејќи понекогаш се разликуваат реалните висини од

проектираните. Дополнителен проблем се недоволно прецизните мерења на струјата и напонот во припадните трафостаници, овој проблем е изразен во постарите трафостаници каде се мери само моќноста пренесена преку далноводите.

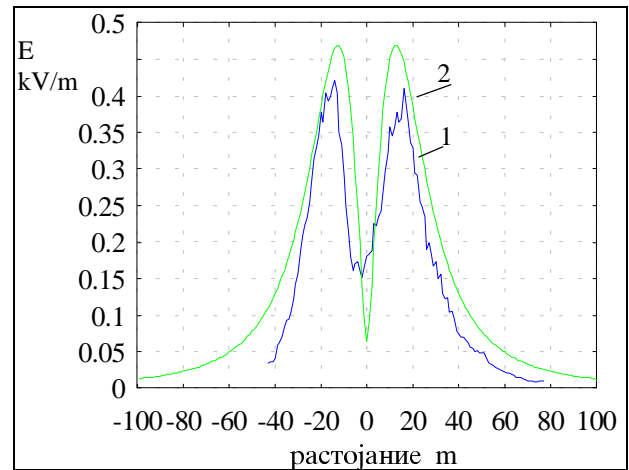
## 2. ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ

Електричното поле е мерено во точки  $1m$  над површината на земјиното тло, каде доминантна е вертикалната компонента на електричното поле. Користејќи ги проектанските податоци, пресметано е електричното поле под истите далноводи на  $1m$  над површината на тлото. Самиот процес на мерењето треба да се изведува многу внимателно. При мерењето на електричното поле влијание имаат блиските објекти, високи грмушки, дрва, како и телото на мерачот кое го изобличува електричното поле.

Измерените и пресметаните вредности на електрично поле под  $110\text{ kV}$  далновод Скопје1- Тетово и  $220\text{ kV}$  далновод Скопје1-Косово1, прикажани се на сл.1 и сл.2. На сл.1 кривите 1 и 2 се измерени под истиот далновод во временски интервал од 10 минути. Мерените вредности се нешто помали од пресметковните вредности, за кои се користени проектанските податоци.



Сл. 1. Измерени криви-(1) и (2), пресметана крива- (3) на електричното поле под  $110\text{ kV}$  далновод Скопје1 - Тетово



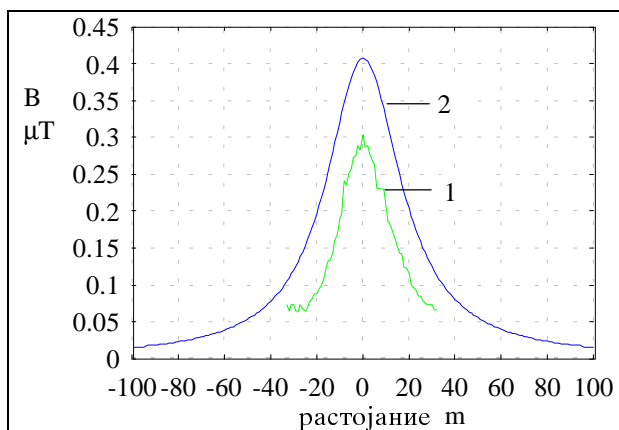
Сл. 2. Измерена крива- (1) и пресметана крива- (2) на електричното поле под  $220\text{ kV}$  далновод Скопје1 -Косово1

Максималната вредност на електричното поле под  $110\text{ kV}$  далноводот Скопје1-Тетово е  $0,24\text{ kV/m}$ , а под  $220\text{ kV}$  далновод Скопје1 - Косово1 максималната вредност е  $0,42\text{ kV/m}$ .

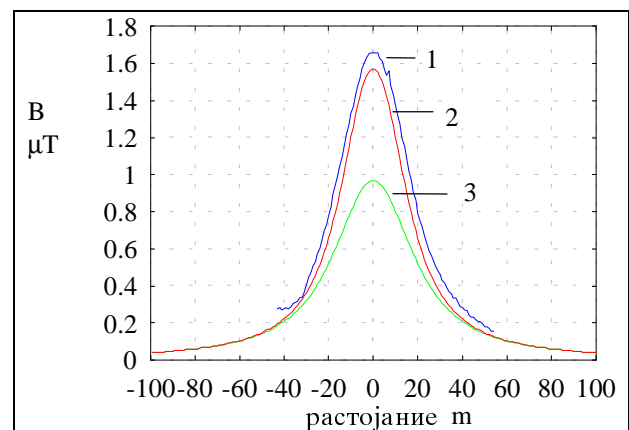
## 3. МАГНЕТНО ПОЛЕ

При мерењето на магнетното поле (т.е. магнетна индукција) треба што поточно да се знае струјата низ фазните проводници на далноводот, евентуалната струја низ громобранското јаже и можната несиметријата на системот. Познавањето на овие струји е сврзано со доста потешкотии и најчесто во постарите трафостаници и не се мери струјата, туку моќноста што се пренесува преку соодветниот далновод.

На сликите 3 и 4 се дадени вредностите од измереното и пресметаното магнетно поле под 110 kV далновод Скопје1- Тетово и 220 kV далновод Скопје1-Косово1. На сл. 4 кривата 3 е добиена со проектанските вредности за висината на фазните проводници, додека со вредностите за висините измерени со висинометар вредностите на магнетното поле (крива 2) се блиску до измерените. Треба да се напомене дека мерењата се правени нормално на правецот на далноводот.



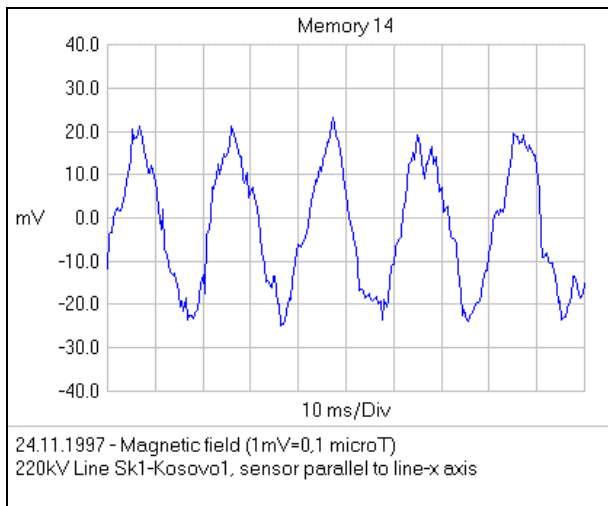
**Сл. 3.** Измерена крива (1) и пресметана крива (2) на магнетното поле под 110 kV далновод Скопје1 - Тетово



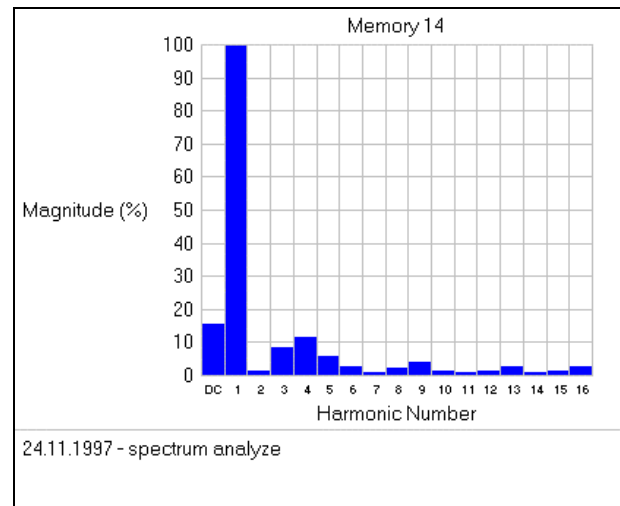
**Сл. 4.** Измерена крива (1) и пресметани криви (2) и (3) на магнетното поле под 220 kV далновод Скопје 1 - Косово1

Споредувани се магнетните полиња под преносните и дистрибутивните далноводи. Фазните струји низ дистрибутивните далноводи може да бидат поголеми од струјите низ преносните далноводи и со поизразена несиметрија. Поради тоа, магнетните полиња во близина на дистрибутивните водови се споредуваат со магнетните полиња околу преносните далноводи. Исто така, дополнителна причина која наведува да се истражуваат овие полиња е фактот дека дистрибутивните далноводи во селските и приградските средини минуваат многу блиску до домовите и нивното влијание врз луѓето е поголемо. Магнетното поле во функција од време е измерено под неколку преносни и дистрибутивни далноводи. На истите е направена и спектрална анализа за да се проучи влијанието на вишите хармоници.

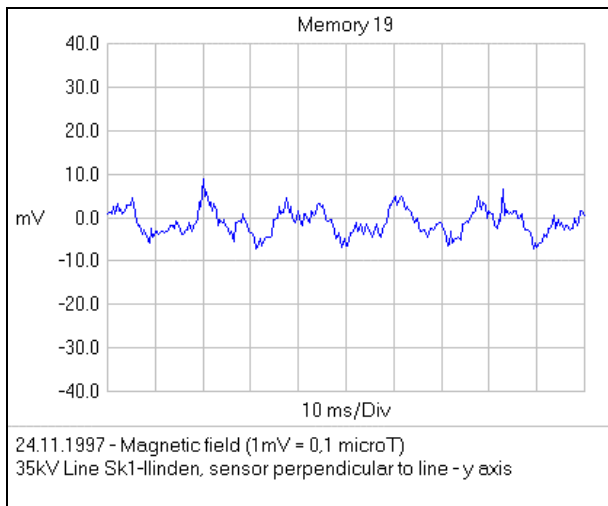
На сл. 5 е прикажано магнетното поле под 220kV далновод, истото е мерено со сензор поставен паралелно со далноводот. На сл.6 е прикажана спектралната анализа на измерениот сигнал, се гледа дека влијанието на вишите хармоници е занемарливо. На сликите 7 до 10 се прикажани магнетните полиња под 35kV далновод. Во случај кога



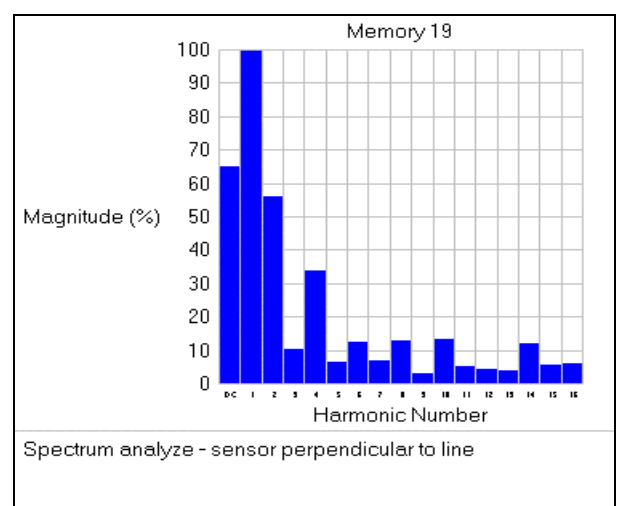
**Сл. 5.** Магнетно поле под 220kV далновод



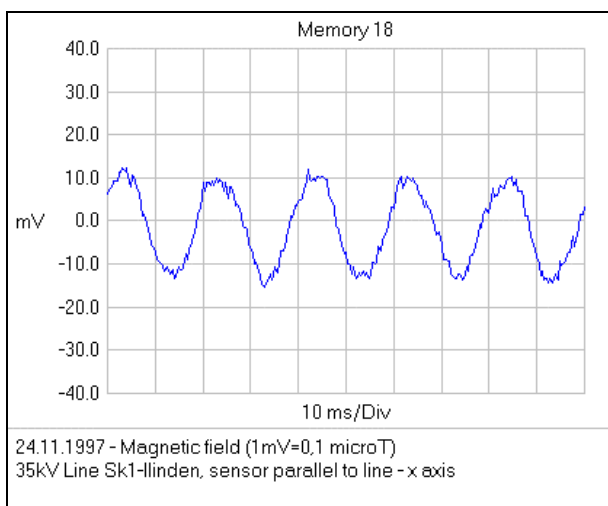
**Сл.6.** Спектрална анализа на МП од сл.5



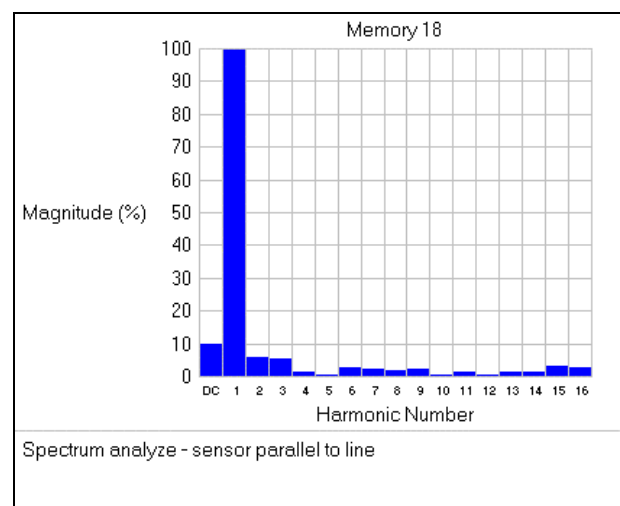
**Сл 7.** Магнетно поле под 35kV далновод  
сензорот нормален со проводниците



**Сл 8.** Спектрална анализа на МП од сл.7



**Сл. 9.** Магнетно поле под 35kV далновод  
сензорот паралелен со проводниците



**Сл.10.** Спектрална анализа на МП од сл.9



сензорот е нормален на далноводот (сл.7) вишите хармоници се значително изразени. Еднонасочната компонента е 65% од основната фреквенција, исто така силно е изразен вториот хармоник (сл.8). Во случај кога сензорот е паралелен со далноводот сл.9 и сл.10 измерениот сигнал е посинусоидален и вишите хармоници не се толку изразени.

#### 4. ПРЕГЛЕД НА ДЕЛ ОД СВЕТСКАТА РЕГУЛАТИВА

Прашањето за можното негативно дејство на електромагнетните полиња врз здравјето на луѓето е покренато на советувањето на ЦИГРЕ во 1972 година со еден извештај на научниците од тогашниот СССР. Исто така во СССР првпат се прифатија законски одредби за максимално дозволени вредности за електричното поле во 1975 [3].

Тие вредности се следните:

- 10  $kV/m$  за раскрсници и во места каде што пристапот на луѓе е вообичаен,
- 15  $kV/m$  во ненаселени но лесно пристапни места,
- 20  $kV/m$  за тешко достапни подрачја.

За подолг престој во електроенергетски објект (на пр. во трафостаница) е прифатена вредност од 5  $kV/m$ , ова е вредност што денес е вообичаена во 400kV трафостаниците. Во Јапонија во подрачјата кои се достапни на широката публика електричното поле е ограничено на 3  $kV/m$ .

Федералната влада на Соединетите Држави нема донесено законски ограничувања на електромагнетните полиња, но затоа неколку држави имаат донесено своја регулатива, Табела 1 [10], за дозволените јачини на електричното поле во околина на далноводи.

Табела 1. Дозволени јачини на електрично поле во САД

Држава	Дозволена вредност на електричното поле
Montana	1kV/m на крајот на ROW во резиденцијални зони
Minnesota	8 kV/m максимум во ROW
New Jersey	3 kV/m на крајот на ROW
New York	1,6 kV/m на крајот на ROW
North Dakota	9 kV/m максимум во ROW
Oregon	9 kV/m максимум во ROW
Florida	10 kV/m максимум за 500kV далн. во ROW 2 kV/m максимум за 500kV далн. на крајот на ROW 8 kV/m максимум за 230kV далн. и помали во ROW 2 kV/m макс. за 230kV далн. и помали на крајот на ROW

(Забелешка: ROW - right of way или дозволен правец, е правец со дефинирана широчина по кои треба да поминуваат далноводите и други подземни и надземни инсталации. Ова е законска одредба во САД и Канада, донесена од еколошки причини).

Од табелата се гледа дека најстроги бил законодавците во Монтана додека Флорида има регулатива за 230kV и 500kV напонско ниво.

Во случајот на магнетното поле законските одредби се уште не се докрај дефинирани или се во тек на донесување. Во Соединетите Држави само Флорида има донесено закон со кој се дефинираат дозволените вредности на магнетното поле:

20  $\mu T$  за 500kV далноводи на крајот на ROW,

25  $\mu T$  за двојни 500kV далноводи на крајот на ROW,

15  $\mu T$  за 230kV и далноводи од пониско напонско ниво на крајот на ROW.

Интернационалната агенција за заштита од Радијација (International Radiation Protection Association - IRPA) издаде во 1990 година водич за дозволените експозиции при 50/60Hz електрично и магнетно поле (Interim Guidelines on Limits of Exposures to 50/60Hz Electric and Magnetic Fields). Овој водич, како и што стои во неговиот наслов, е од привремен карактер. Со него се дефинирани дозите кои може да ги прими човек (види Табела 2). Електричното и магнетното поле како резултат предизвикуваат проток на струја низ телото, кој самиот од себе е доза (струјата е однос на количество електричество врз единица време). При тоа експозицијата на електрично поле помеѓу 10 и 30kV/m може да

Табела 2. Дозволена експозиција на 50/60 Hz електрично и магнетно поле-според IRPA

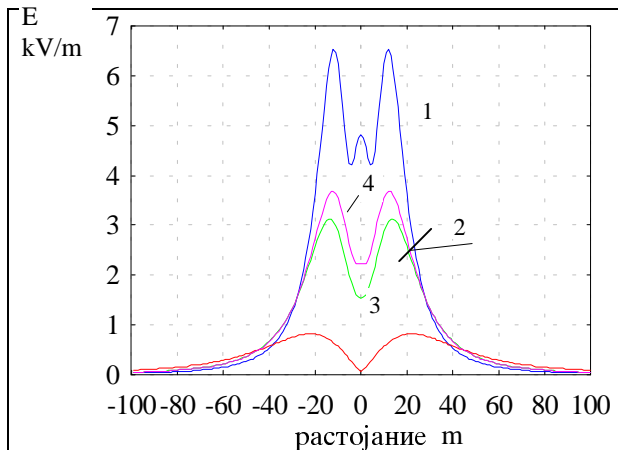
Експозиција	Електрично поле kV/m <sub>(rms)</sub>	Магнетно поле $\mu T$ <sub>(rms)</sub>
<b>Професионална</b>		
За цел работен ден	10	500
Краткотрајна до 2 часа/ден	30	5000
<b>Широка публика</b>		
До 24 часа на ден	5	100
За неколку часови на ден	10	1000

се пресмета по формулата  $80t/E$ , каде  $t$  е времетраењето на експонираноста во часови во текот на работниот ден и  $E$  е електричното поле во kV/m. Дозволената експозиција за широката публика важи за отворен простор каде таа може да престојува во текот на денот. Се гледа дека во постојната регулатива има значителна разлика во дозволените јачини на магнетното поле.

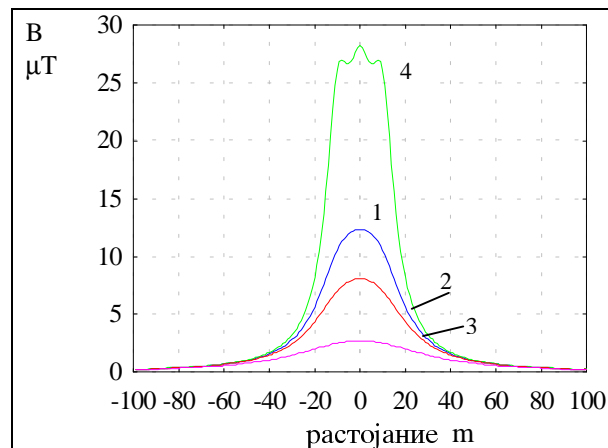
На сл.11 е прикажано пресметаното електрично поле за 400kV далновод поставен на столб од типот N1 (производство на ЕМО Охрид). Се гледа дека широчината под далноводот во која полето е над 1kV/m е околу 70 метри. На сл.12 е прикажано пресметаното магнетното поле под 400kV- далновод, тип на столб N1, при линиска струја од 500A. Ако висината на столбот е 14m полето под далноводот е 28 $\mu T$ .

Овие резултати се во согласност со податоците од литературата [3,10] и се во дозволените граници.

За да се добие претстава за реалните вредности извршени се мерења во ТС "Скопје 4" под 400kV линиско и трафо поле, правецот на движење бил паралелно под далноводот. Добиените вредности се прикажани на сл.13 и сл.14, малата вредност на магнетното поле се должи на минималното оптоварување на далноводот во моментот на мерењето.

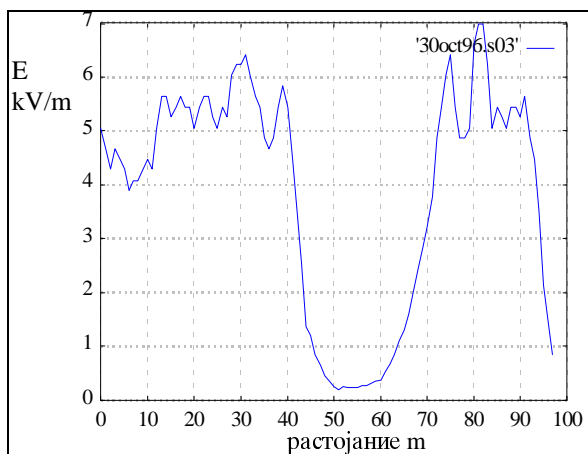


**Сл. 11.** Електрично поле под 400 kV дал. Тип на столб N1. Кривите 1,2,3 се за висини на столбот  $H=14, 20, 38$  m, кривата 4 е за  $H=38$  m и точки 5 m над земјиното тло

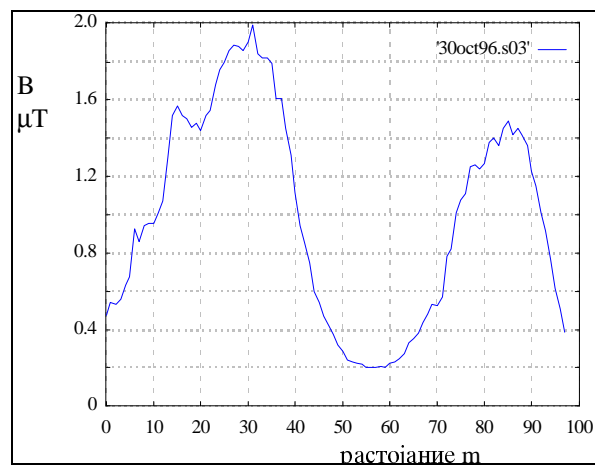


**Сл. 12.** Магнетно поле под 400 kV дал. Тип на столб N1. Кривите 1,2,3 се за висини на столбот  $H=14, 20, 38$  m, кривата 4 е за  $H=38$  m и точки 5 m над земјиното тло

Некои земји блиски до нас како Словенија, Унгарија и други, веќе имаат донесено регулатива за дозволените вредности на електромагнетните зрачења во околината на електроенергетските објекти. Шведска, Финска и Франција со својата регулатива и мерките кои ги превземаат за намалувања на електромагнетните полиња водат пред другите земји.



**Сл.13.** Електрично поле во ТС “Скопје 4”



**Сл.14.** Магнетно поле во ТС “Скопје 4”

## 4.ЗАКЛУЧОК

Во трудот се прикажани измерените електромагнетни полиња под високонапонските надземни преносни и дистрибутивни водови. Изработен е компјутерски програм за пресметка на овие полиња и споредба со мерени вредности. Надземните дистрибутивните водови, заради можната несиметрија и величините на струјите кои течат можат да бидат извори на јако магнетно поле. Нивната близина до населените места, (често пати тие поминуваат недозволиво блиску до домовите, ова важи и за 110kV далноводите), наведуваат на темелни мерења и истражувања на магнетните полиња. Ситуацијата со електричното поле е многу појасна, бидејќи тоа зависи од напонското ниво, а сепак електроенергетските постројки од највисоко напонско ниво застапени кај нас, се далеку од широка публика и од објектите за живеење. Електричното поле од дистрибутивните постројки е далеку под максимално дозволените вредности.

Ситуацијата со магнетното поле повеќе загрижува и вакви истражувања во нашата земја се уште не се направени. Овој труд е само почеток и потребни се долготрајни следења на магнетното поле, не само во текот на еден ден или месец туку преку целата година.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Димчев, Б.Ханџиски: “Мерења на нискофреквентни електрични и магнетни полиња во и околу електроенергетски објекти”, Мако-Сигре, Прво Советување, Струга септември 1996.
- [2] В.Димчев, Б.Ханџиски, Л.Грчев: “Мерење и пресметка на електричното и магнетното поле од надземни електроенергетски водови”, трудот е прифатен за објавување во Зборникот на Електротехничкиот факултет- Скопје, вол.20, 1997год.
- [3] WG 36-01 CIGRE, “*Electric and Magnetic Fields Produced by Transmission Systems*”, Paris 1980.
- [4] A report of the IEEE Magnetic Fields Task Force, “*Magnetic Fields From Electric Power Lines Theory and Comparison to Measurements*”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 3, No. 4, October 1988.
- [5] J. Swanson, “*Magnetic fields from transmission lines: comparison of calculations and measurements*”, IEE Proc.-Gener. Transm. Disturb., Vol.142, No. 5, Sept. 1995.
- [6] R.G. Olsen, D.C. James, “*The Performance of Reduced Magnetic Field Power Lines Theory and Measurements on an Operating Line*”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 8, No.3, July 1993.
- [7] A.V. Mamishev, B.D. Russell, “*Measurement of Magnetic Fields in the Direct Proximity of Power Line Conductors*”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 10, No. 3, July 1995.
- [8] P. Sarma Maruvada, A. Turgeon, D.L. Goulet, “*Study of Population Exposure to Magnetic Fields Due to Secondary Utilization of Transmission Line Corridors*”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 10, No. 3, July 1995.
- [9] IEEE Std 1460-1996, *IEEE Guide for the Measurement of Quasi-Static Magnetic and Electric Fields*, March 1997.
- [10] W. Cotten, K.Ramsing, C. Cai, “*Design Guidelines for Reducing Electromagnetic Field Effects from 60-Hz Electrical Power Systems*”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, No.6, 1994.

# **МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ -СИГРЕ С К О П Ј Е**

## **ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ**

---

Доц. д-р Сузана Лошковска  
м-р Марија Кацарска  
д-р Лидија Олооска  
Проф. д-р Леонид Грчев  
Електротехнички факултет - Скопје

### **СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА ВЛИЈАНИЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВРЗ ЛУЃЕТО**

#### **СОДРЖИНА**

Растечкиот број на извори на електромагнетни полиња и зголемената употреба на електрична и електронска опрема во скоро сите подрачја од животот на човекот, го прави човековиот живот зависен од квалитетот на системите кои произведуваат и/или ја користат електричната енергија. Поради тоа, важен параметар на квалитетот на истите е нивното ефикасно користење без нарушување на квалитетот на животната околина и пред сè без било какво предизвикување на здравствени проблеми кај луѓето. Во трудот е опишан систем за следење на влијанието на електромагнетните полиња врз човекот во неговата животна и работна околина. Презентирана е предложената структура на системот и примери изработени со истиот.

#### **А Б С Т Р А К Т**

For the past twenty years there has been apprehension that the electric and magnetic fields arising from the supply and use of electricity may have adverse health effects on humans. Therefore, the important parameter of electric devices quality becomes capacity of their efficient utilization without destroying quality of living environment and/or causing health problems. A system for monitoring electromagnetic influences on humans in living and working environment, is currently underdevelopment. This paper contains a description of the proposed system and some examples with visualization of electromagnetic influences on humans in the system.

**Клучни зборови:** Електромагнетно поле, ризик по здравје, виртуелна реалност, електромагнетна компатибилност.

## 1. ВОВЕД

Во последните дваесетина години непрекинато се зголемува загриженоста дека електричните и магнетните полиња, кои се резултат на опремата и користењето на електричната енергија во животната и работната околина, можат да имаат неповолно влијание врз здравјето на луѓето. Големiot број на опширни студии, досега изведени во светот, доведе до заклучок дека постои веројатност за зголемен ризик по здравјето на луѓето заради изложеност на електромагнетни (ЕМ) полиња во животната и работната околина [1]. Иако постојат разни сознанија за тоа, она што сеуште не се знае е колкав е тој ризик и точно во кои околности се јавува. Во меѓувреме, кај индивидуалните лица и организациите чија работа е производство, дистрибуција и користење на електрична енергија, се појавува потреба за регулирање на прашањата и законските регулативи околу зголемената емисија на електромагнетни полиња. Во ситуација кога ризикот по здравјето на луѓето сеуште не е попрецизно определен, широко е прифатена превентивна стратегија на претпазливост, која е позната под називот "prudent avoidance" (претпазливо одбегнување). Стратегијата се базира на фактот дека постојат доволно показатели за можните проблеми за кои предупредуваат досегашните истражувања. Од друга страна пак, недоволно е позната големината на ризикот и тоа кои параметри на полињата влијаат на зголемување на ризикот по здравјето на човекот. Чекорите кои ја сочинуваат стратегијата " претпазливо одбегнување " се едноставни:

- зголемување на оддалеченоста од изворите на високи полиња,
- намалување на времето поминато во средина со силни ЕМ полиња, и
- намалување на јачината на емитираните ЕМ полиња.

Горните чекори се препорачуваат секогаш кога тоа е можно и при разумна цена на чинење на предвидената акција.

Како поддршка на подоброто разбирање на влијанието на ЕМ зрачење врз човековиот организам на Електротехничкиот факултет во Скопје се развива систем за следење на влијанието на ЕМ полиња врз луѓето во различни животни и работни околин. Системот се заснива на користење на виртуелната реалност со чија помош можат да се креираат најразлични околин со еден или повеќе извори на ЕМ зрачење.

Сите досегашни студии за следење на влијанието на ЕМ полиња врз луѓето вклучуваат голем број мерења на јачината на електричното и магнетното поле во средина во која се активни еден или повеќе електрични уреди. Проблемите кои се јавуваат при ваквото следење на влијанијата се:

- тешкотии поради влијанијата на останатите ЕМ извори во околината кога треба да се испитува зрачењето само од еден извор;
- потреба од многубројни повторувања на мерењата кои треба да се изведат под истите услови;
- потреба од поголем број скапи мерни инструменти и опрема кои треба да ги покријат сите мерни точки од интерес; и
- потреба од обработка на екстремно голем број на податоци.

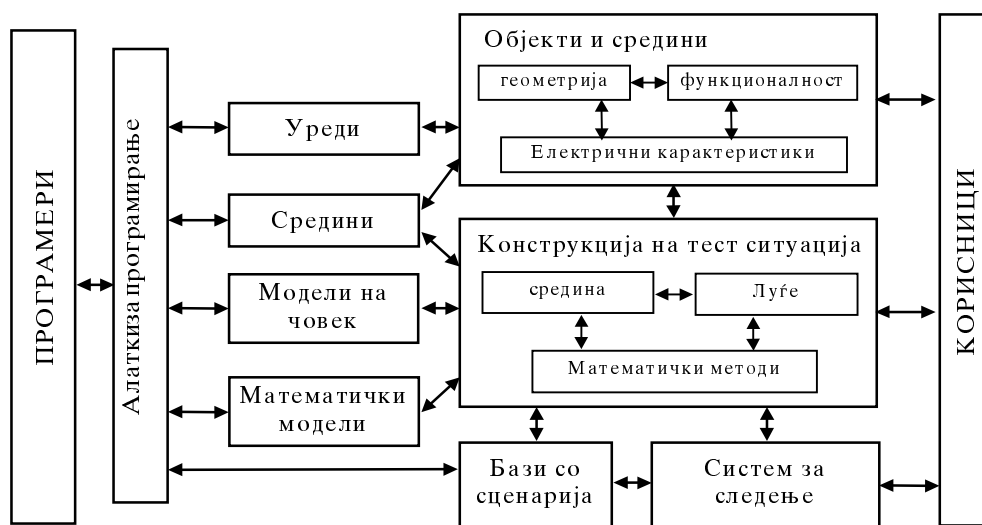
Примената на технологијата на виртуелна реалност во развиваниот систем овозможува примена на неколку различни математички методи кои можат да бидат имплементирани за пресметување и приказ на различните аспекти на електромагнетните процеси. Основна предност на методот е визуелизација на параметрите на влијанијата директно врз човековите модели во различни симулирани околин во

системот. Предност на визуелизацијата е и интуитивно подобро разбирање на комплексните ситуации.

## 2. СТРУКТУРА НА СИСТЕМОТ

На сликата 1 е прикажана предложената структура на системот и логичкиот проток на информации меѓу системот и корисникот. Системот содржи три глобални целини:

- CAD систем за генерирање тридимензионални околин;
- систем за креирање на тест ситуации и
- систем за следење на тестовите.



Слика 1. Структурата на системот

CAD системот овозможува дизајнирање на тродимензионални модели со одредена геометрија, функционалност и посакувано електромагнетно зрачење [2].

Системот за креирање на тест ситуации треба да обезбеди механизам за одредување и поставување на сите параметри и услови под кои ќе се извршат тестовите. Одредувањето на условите за тестирање се состои од селекција на околината во која се врши тестирањето, бројот, поставеноста и активното време на електричните уреди, како и однесувањето на луѓето во периодот на тестирање.

Предвидено е системот за следење на тестовите да ги користи сите записи за припремените сцени, да изврши конструкција на сцената и да го прикаже процесот на еден или повеќе од можните излезна уреди. За секој човек кој што е опишан во системот, истиот директно ги пресметува селектираните параметри и ги визуелизира резултатите на човековата фигура.

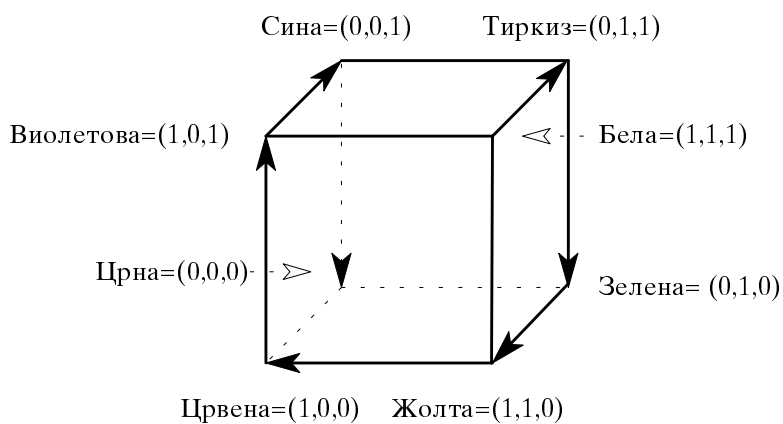
Конечната верзија на системот бара инсталација на барем една графичка станица, како и камери, визир, ракавици, стандардна тастатура и 3D глумчиња како периферни уреди. Секој корисник на системот, покрај стандардниот начин на испитување на околината во виртуелна реалност со визир и ракавици, истото би можел да го следи и со користење на стандардна тастатура и глумчиња.

### 3. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА НА СИСТЕМОТ

Во трудовите [3,4,5,6] презентирани се повеќе примери кои ги покажуваат подрачјата на можна примена на системот. Тие вклучуваат:

- визуелизација на влијанието на ЕМ полиња врз луѓе при употреба на миксер и други електрични апарати во виртуелна кујна [3,4,6];
- визуелизација на зраченото и индуцираното ЕМ поле во главата на корисник на мобилен телефон [5].

Секој пример е подготвен со првата верзија на системот за следење на тестовите. За презентацијата се користени вредности добиени од компјутерска програма со чија помош се пресметуваат ЕМ зрачења од различни извори како и предизвиканите индуцирани ЕМ полиња во внатрешноста на човековиот организам. За таа цел, направен е модел на човек составен од неуниформни коцки со страна со должина од 0.6 до 5 cm кои имаат различна диелектрична константа, проводливост и густина на материјата. За почеток, работено е со шест видови на ткива: кожа, коска, мускул, рскавица, мозок и меки ткива на абдомен. За секој дел од моделот, пресметана е вредноста на јачината на векторот на магнетната индукција  $B$  и јачината на векторот на електричното поле  $E$ , за сите позиции на човек кој извршува одредена задача. Добиените вредности се меморирани во датотеки, притоа чувајќи за секоја коцка по пет вредности (три за координатите на центарот на коцката, еден за големината на страната на коцката и еден за пресметаната вредност на јачината на ЕМ поле). Кога ја рендерира сликата, системот ги чита сите вредности, ги конвертира во соодветна боја и го прикажува објектот (слика 2).



Слика 2. Начин на конверзија на параметрите на ЕМ поле во боја

На сликата 3 е прикажана јачината на магнетната индукција на горниот дел од човековото тело кога тој ракува со вклучен миксер. Различните вредности на магнетната индукција се претставени со различни бои. Посветлите бои ги прикажуваат помалите вредности, додека црните квадрати одговараат на вредности поголеми од 20  $\mu T$ .





Слика 3. Визуелизација на јачината на магнетната индукција на површината на горниот дел од човековото тело при работа со миксер

На сликата 4 прикажан е еден хоризонтален пресек на главата од човековиот модел и распределбата на јачината на резултантното електрично поле во неа кога човекот користи мобилен телефон оддалечен 2 cm од неговата глава. Помалите вредности на електричното поле се претставени со посветли бои.



Слика 4. Хоризонтален пресек на главата на човек кој користи мобилен телефон и распределбата на јачината на електричното поле во неа

#### **4. ЗАКЛУЧОК**

Во трудот е опишан систем за следење на влијанието на електромагнетните полиња врз луѓето во различни животни и работни околии, кој се развива на Електротехничкиот факултет во Скопје. Системот се заснива врз користење на современата техника на виртуелна реалност и на современи методи за пресметување на електромагнетно поле во произволни тридимензионални тела. Иако студијата сеуште е во развој, лесно може да се согледа потенцијалната искористеност на истиот. Предностите кои тој ги овозможува се:

- влијанијата на ЕМ полиња се пресметуваат со директно следење на позицијата на човекот во текот на работата;
- за едно исто однесување на човекот можат да се следат влијанијата на ЕМ поле во различни околии;

- за едно исто однесување на човекот може да се изврши проширена студија пресметувајќи повеќе од еден параметар или неколку различни аспекти на влијание на ЕМ полиња;
- имајќи модел на однесување, можат да се постават стандарди на однесување на луѓето во дадена околина како и стандарди за разместување на елементите во истата;
- во секој момент можат да се додаваат нови извори на ЕМ зрачење или пак истите да се елиминираат;
- можат да се применуваат различни методи за пресметување на ЕМ параметри при исти услови во човековата околина и истите повеќе пати да се повторуваат; и
- можат да се претстават и индуцираните ЕМ полиња во внатрешноста на човековиот организам за различни ткива, со што директно се добива озраченоста на секој орган поединечно.

Кога сите елементи на системот ќе бидат евалуирани со споредба со практични мерења, неговата примена ќе биде можна за повеќе намени. На пример: анализа на изложеноста на луѓето во најразлични ситуации во животната и работна околина, вклучувајќи ја и можноста за оптимизирање на однесувањето на луѓето, распредот и изборот на електричните инсталации и опрема, како и оптимизирање при изработка на прототипови на електрични уреди со намалено зрачење.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] CIGRE Working group 36.06, "Electric and magnetic fields and cancer. An update", *Electra*, No. 161, pp. 131-141, 1995
- [2] Vijay, M. Swami, C. Edmond Prakash, "Voxel-Based Modeling for Layered Manufacturing", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.15, No.6, pp.42-47, November 1995
- [3] S. Loskovska, L. Ololoska Gagoska, M. Kacarska, L. Grcev, "Visualization of electromagnetic fields influences on humans in virtual kitchen", International Conference CISST'97, Las Vegas, USA, June 1997
- [4] S. Loskovska, M. Kacarska, L. Grcev, "VR based CAD system for prototyping electric machines that enable testing their EMF influences to humans," 4th IFAC Workshop on IMS'97, Seoul, Korea, July 1997
- [5] S. Loskovska, L. Ololoska, M. Kacarska, L. Grcev, "VR based system for monitoring EMF influences on humans in cellular telecommunications," IASTED International Conference SPC'98, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Feb. 1998
- [6] S. Loskovska, M. Kacarska, L. Grcev, "Monitoring system for visualization electromagnetic fields influences on humans," *IEEE International Conference MELECON'98*, Tel-Aviv, Israel, May 1998

# **МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ -СИГРЕ С К О П Ј Е**

## **ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ**

---

д-р Лидија Ололоска  
Доц. д-р Сузана Лошковска  
м-р Марија Кацарска  
Проф. д-р Леонид Грчев  
Електротехнички факултет - Скопје

### **ПРЕЛИМИНАРНИ МЕРЕЊА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО ЖИВОТНА И РАБОТНА ОКОЛИНА НА ЧОВЕКОТ**

#### **СОДРЖИНА**

Во трудот се дадени прелиминарните мерења на магнетното поле во животната и работната околина на луѓето. Како прототип на животна околина е земена просечна кујна во повеќекатница. Во неа е мерена јачината на магнетната индукција во неколку позиции. Во работна околина вршени се мерења во просторијата со 35 kV ќелии во ТС Скопје 2 и при рачно електролачно заварување со наизменична струја од 200 А. Минимални вредности на јачината на магнетната индукција, помали од 0.01  $\mu\text{T}$ , измерени се во командните простории на ТС, додека пак максимални вредности, до 226  $\mu\text{T}$ , при заварувањето.

#### **АБСТРАКТ**

This paper presents the preliminary measurements of magnetic fields in the humans residential and occupational environment. As the prototype of residential environment a typical kitchen in solitaire is taken. A magnetic flux density in a few position is measured. The 35 kV swiching cells in substation TS Skopje 2 and resistance arc welding are taken as occupational environments. Minimum flux density is measured in substations' comand offices (below 0.01  $\mu\text{T}$ ) and maximum is measured during arc welding (up to 226  $\mu\text{T}$ ).

**Клучни зборови:** магнетно поле, ризик по здравје, мерење

#### **1. ВОВЕД**

Последните години расте загриженоста, како на научната заедница така и на пошироката јавност, од можната врска меѓу изложеноста на луѓето на електромагнетни полиња (ЕМП) со индустриска фреквенција (50-60 Hz) и појавата на разни болести вклучувајќи разни видови малогни заболувања. Многуге епидемиолошки и

лабораториски студии објавени до денес укажуваат дека ризик по здравјето постои [1,2], но сèуште не е дојдено до попрецизна проценка на ризикот по здравјето во различни околности во кои човекот секојдневно се наоѓа. Она што може да се очекува од големите студии, кои моментно се во тек во светот, се гранични дозволени вредности на јачината на електричното и магнетното поле и на временски период на изложеност на човековиот организам, при кои ризикот од загрозување на неговото здравје ќе биде занемарлив. Заради тоа, неопходно е детално познавање на нивото на електричното и магнетното поле во различни ситуации типични за нашата околина.

Во трудот се изложени прелиминарните мерења извршени во животна околина (кујна) и повеќе работни околини на човекот (контролни простории во трафостаници, просторија со 35 kV разводни ќелии во трафостаница и рачно електролачно заварување). Овие резултати се дел од истражувањата во оквир на повеќе научноистражувачки проекти во тек на Електротехничкиот факултет во Скопје.

Вообичаено е во праксата векторот на магнетната индукција  $\mathbf{B}$  [Т] да се користи како величина која го опишува магнетното поле. Затоа, мерењата се вршени со инструмент кој ја мери јачината на векторот на магнетната индукција во одреден правец во просторот. Интензитетот на векторот  $\mathbf{B}$  се пресметува според релацијата

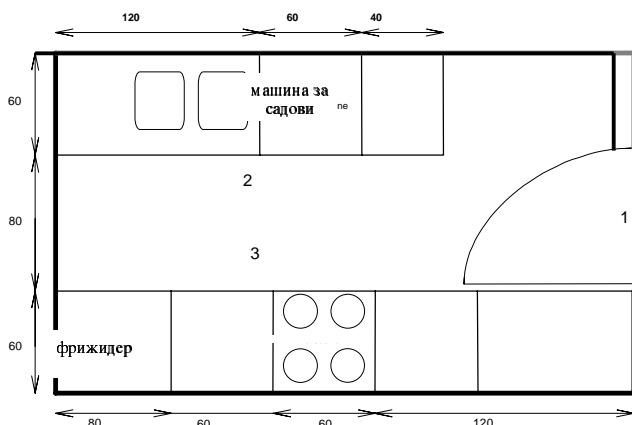
$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (1)$$

каде  $B_x$ ,  $B_y$  и  $B_z$  се нормалните проекции на векторот  $\mathbf{B}$  на координатните оски на Декартовиот правоаголен координатен систем, со почеток во точката на мерење. При тоа оската X е нормална на телото на човекот, Y е паралелна со него, а Z е паралелна со висината на телото.

Мерени се јачините на компонентите на векторот  $\mathbf{B}$  во точки кои се на различна височина  $h$  од нивото на просторијата.

## 2. МЕРЕЊА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО ЖИВОТНА ОКОЛИНА

Како прототип на животна околина на човекот е одбрана просечна кујна во повеќекатница во Скопје. Скицата на кујната со распоредот на елементите во неа е даден на сликата 1.

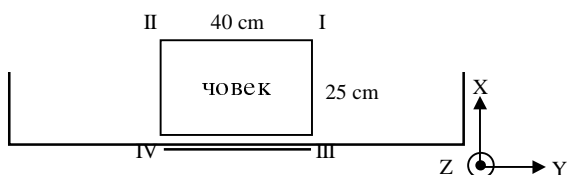


Слика 1. Скица на моделот на кујна

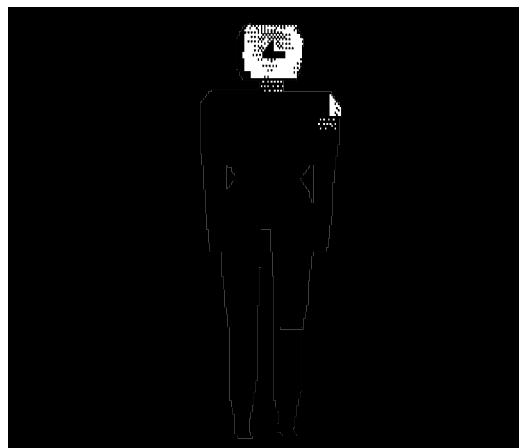
Мерењата се вршени во три позиции, кога во кујната работат фрижидерот, машината за садови, рерната и две рингли на шпоретот. Според постојните прописи

за изведување на електрични инсталации, доводните електрични кабли поставени се на десниот ѕид од кујната (гледано од вратата) околу 1.90 m од подот.

Положбата на човекот во позицијата 1 и координатите на мерните точки се дадени на сликата 2а, додека добиените вредности за компонентите на векторот  $\mathbf{B}$ , изразени во  $\mu\text{T}$ , презентирани се во табелата I. На сликата 2б јачината на векторот  $\mathbf{B}$  во која се наоѓа човековото тело во позиција 1 претставена е со бои. Белата боја е за  $0 \mu\text{T}$ , црната за максималната јачина, а сите останати вредности се претставени со комбинација од овие две.



a)



b)

Слика 2. Координатите на мерните точки (а) и визуелно претставени добиените јачини на векторот  $\mathbf{B}$  во положба 1 (б)

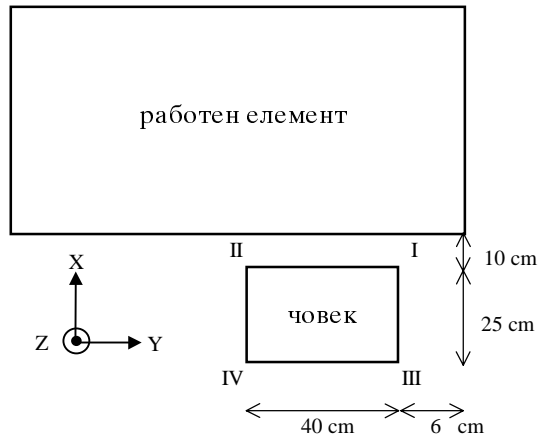
Табела I. Позиција 1 во кујната

h	мерни точки I		мерни точки II		мерни точки III		мерни точки IV	
	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$
0 cm	0.2	0.35	0.45	0.15	0.39	0.1	0.3	0
30 cm	0.1	0.25	0.45	0.15	0.4	0.05	0.25	0
100 cm	0.2	0.3	0.5	0.15	0.4	0.05	0.2	0
165 cm	0.35	0.4	0.5	0.25	0.45	0.15	0.3	0.05

h – оддалеченост на мерната точка од подот на просторијата

$B$  – компонентата на јачината на векторот на магнетната индукција во  $\mu\text{T}$

Положбата на човекот во позицијата 2 и координатите на мерните точки се дадени на сликата 3. Добиените вредности за компонентите на векторот  $\mathbf{B}$ , изразени во  $\mu\text{T}$ , презентирани се во табелата II.

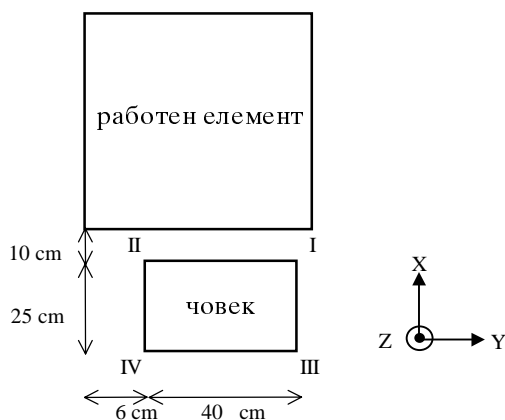


Слика 3. Координатите на мерните точки во положба 2

Табела II . Позиција 2 во кујната

h	мерни точки I	мерни точки II	мерни точки III	мерни точки IV
	$V_x = V_y$	$V_x = V_y$	$V_x = V_y$	$V_x = V_y$
0 cm	0.9	0.4	0.4	0.35
15 cm	1.05	0.55	0.5	0.4
30 cm	0.8	0.67	0.45	0.37
50 cm	0.8	0.7	0.42	0.4
85 cm	0.6	0.5	0.4	0.3
120 cm	0.4	0.3	0.3	0.25
140 cm	0.25	0.22	0.3	0.2
145 cm	0.3	0.2	0.3	0.2
165 cm	0.2	0.15	0.3	0.2

Положбата на човекот во позицијата 3 и координатите на мерните точки се дадени на сликата 4, додека добиените вредности за компонентите на векторот **V**, изразени во  $\mu T$ , презентирани се во табелата III.



Слика 4. Координатите на мерните точки во положба 3

Табела III. Позиција 3 во кујната

h	мерни точки I		мерни точки II		мерни точки III		мерни точки IV	
	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$	$B_x$	$B_y$
0 cm	0.08	0.1	0.13	0.15	0.13	0.1	0.05	0.17
30 cm	0.07	0.2	0.2	0.18	0.15	0.14	0.1	0.13
50 cm	0.05	0.23	0.3	0.15	0.18	0.15	0.12	0.1
85 cm	0.08	0.25	0.23	0.35	0.19	0.16	0.1	0.1
120 cm	0.28	0.15	0.1	0.2	0.1	0.1	0.13	0.08
140 cm	0.05	0.18	0.14	0.15	0.07	0.07	0.12	0.07
145 cm	0	0.19	0.15	0.1	0.1	0.09	0.17	0.06
165 cm	0	0.1	0.15	0.08	0.09	0.07	0.13	0.04

За сите три позиции Z компонентата на векторот  $\mathbf{B}$  е занемарливо мала. Дел од мерењата во кујната се објавени во трудот [3].

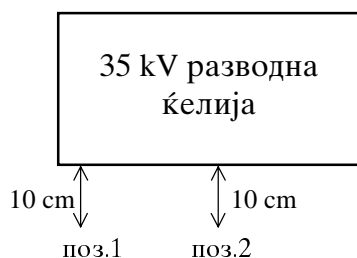
### 3. МЕРЕЊА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО РАБОТНА ОКОЛИНА

Како примери на работна околина, одбрани се две трафостаници и рачното електролачно заварување.

#### 3.1 Мерења во ТС Скопје 2

Во просторијата со 35 kV разводни ќелии за вклучување и исклучување на далноводите во ТС Скопје 2, во која вработените повремено ги контролираат инструментите, измерени се повисоки нивоа на јачина на векторот  $\mathbf{B}$ . Мерењата се вршени во летен период кога оптовареноста на енергетскиот систем е мала во споредба со зимскиот период.

Мерени се компонентите на векторот  $\mathbf{B}$  во две позиции пред разводни ќелии со различни оптоварувања – 100 A и 210 A. Шематски приказ на позициите 1 и 2 даден е на сликата 5, а добиените резултати во табелите IV и V (за 100 A) и во VI и VII (за 210 A).



Слика 5. Шема на позициите 1 и 2 пред разводните ќелии

Табела IV. 35 kV разводна ќелија, позиција 1

h	$B_x$	$B_y$	$B_z$	B
0 cm	1.65	1.6	0.52	2.4
50 cm	2.0	3.5	2.39	4.7
85 cm	2.1	5.0	2.5	6
100 cm	1.9	5.54	2.85	6.5
140 cm	1.53	5.8	3.2	6.8
165 cm	1.8	4.9	4.0	6.6

Табела V. 35 kV разводна ќелија, позиција 2

h	$B_x$	$B_y$	$B_z$	B
0 cm	0.4	1.3	0.3	1.4
50 cm	0.2	1.7	1.0	1.9
85 cm	4.3	2.7	1.9	5.4
100 cm	5.0	3.2	2.8	6.6
140 cm	5.8	5.0	3.5	8.4
165 cm	5.0	5.7	4.5	8.8

Табела VI. 35 kV разводна ќелија, позиција 1

h	$B_x$	$B_y$	$B_z$	B
0 cm	2.85	2.2	1.28	3.8
50 cm	2.8	5.3	3.6	6.9
85 cm	3.0	5.8	4.7	8
100 cm	3.2	7.3	6.9	10.5
140 cm	1.7	9.19	6.93	12.4
165 cm	1.9	8.72	4.3	9.9

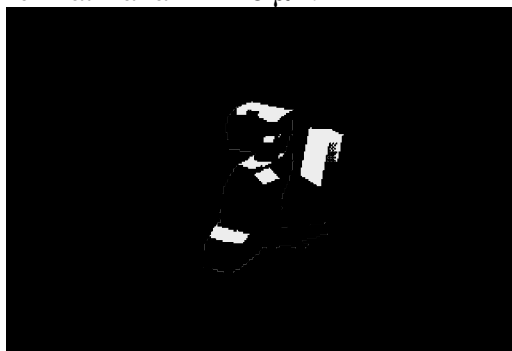
Табела VII. 35 kV разводна ќелија, позиција 2

h	$B_x$	$B_y$	$B_z$	B
0 cm	4.02	2.5	0.42	4.7
50 cm	5.2	4.6	2.9	7.5
85 cm	4.25	4.5	3.08	6.9
100 cm	4.3	7.07	3.35	8.9
140 cm	3.66	7.0	2.66	8.3
165 cm	4.66	6.57	4.2	9.1



### 3.2 Мерење при електролачно заварување

Како втора карактеристична работна средина одбрано е рачното електролачно заварување, бидејќи тоа е процес при кој се појавуваат високи нивоа на магнетно поле во околината. На сликата 6 е даден горниот дел од човек кој врши заварување со наизменична струја со фреквенција 50 Hz и јачина 200 A. Измерените јачини на магнетната индукција се во границите од 54  $\mu\text{T}$  до 226  $\mu\text{T}$ . На сликата, со бои (нијанси од бело до црно), претставени се добиените јачини на векторот на магнетната индукција на површината на телото на заварувачот. При тоа белата боја е за  $B=0 \mu\text{T}$ , а црната за максималната  $B=226 \mu\text{T}$ .



Слика 6. Јачините на векторот  $B$  при електролачно заварување

### ЗАКЛУЧОК

Извршени се прелиминарни мерења на јачината на магнетната индукција во различни животни и работни околинати. Заклучокот кој од нив може да се изведе е дека најголеми јачини на магнетната индукција се појавуваат при заварувањето, до 226  $\mu\text{T}$ . Измерените јачини на магнетната индукција и во просторијата со разводни ќелии во ТС Скопје 2 се со знатен интензитет, достигнуваат до 6  $\mu\text{T}$ . Во двата случаја типичната изложеноста на човековиот организам на високо ниво на магнетна индукција не е подолга од еден час. Во просторијата со разводни ќелии таа може да е помала и од половина час.

Може да се случи престојот во кујна под околности исти како разгледуваните, да биде подолг од еден час. Добиените вредности на јачината на векторот на магнетната индукција се знатни, но не поголеми од 1  $\mu\text{T}$ .

Извршените мерења се прелиминарен дел од планираните подетални мерења во оквир на научноистражувачките проекти од оваа област на Електротехничкиот факултет во Скопје. Планирани се повеќе мерења под различни услови и во подолг временски период во секоја од разгледуваните средини. Во истражувањето треба да се вклучат и други околинати сем наведените, како на пример: индивидуални куќи; простории на различни катови во повеќекатница; спална соба; дневна соба; работни простории со повеќе компјутерски терминали и сл.

Со цел да се процени ризикот по здравје на вработените во командните простории на трафостаниците неопходно е да се извршат детални мерења на нивото на магнетното зрачење на кое тие секојдневно се изложени.

## **БЛАГОДАРНОСТ**

Оваа публикација е заснована на работа делумно спонзорирана од страна на Македонско-американскиот Заеднички фонд за наука и технологија, во соработка со Министерството за енергија (Department of Energy) на САД, под проектен број 137.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] М. Кацарска, Л. Грчев, "Влијание на магнетното поле во животната и работната околина врз здравјето на луѓето", *Прво совешување на МАКО СИГРЕ*, Струга, Македонија, Септември 1996
- [2] -,EMF Issue Management, *Panel 4, 1996 CIGRE Session*, Paris, France, 1996
- [3] S. Loskovska, L. Ololoska, M. Kacarska, L. Grcev, "Visualization of electromagnetic fields influences on humans in virtual kitchen", *International Conference on Imaging Science, Systems and Technology-CISST'97*, Las Vegas, USA, Juli 1997
- [4] S. Loskovska, M. Kacarska, L. Grcev, "VR based CAD system for prototyping electric machines that enable testing their electromagnetic influences to humans", *4th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems-IMS'97*, Seoul, Korea, Juli 1997
- [5] Perry, T.S., "Toady's View of Magnetic Fields", *IEEE Spectrum*, Vol.31, No. 12, pp. 14-23, November 1994

Љубомир Николоски; Горан Рафајловски, Електротехнички Факултет Скопје

Венцислав Малиновски

Јордан Измирлиев; Велимир Сенковски; Мирослав Поповски  
Електростопанство на Македонија

**СНИМАЊЕ НА ПРЕОДНИТЕ СОСТОЈБИ ВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИОТ  
СИСТЕМ КАКО СРЕДСТВО ЗА ОЦЕНКА НА КВАЛИТЕТОТ НА  
ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА**

**КРАТКА СОДРЖИНА**

Во трудот се потенцира снимањето на преодни режими при комутирање на електричните товари или при спонтани реагирања на релејната заштита, како и снимање на напонските јами, како начин за оценка на квалитетот на електричната енергија. Дадени се примери на такви снимени појави во среднонапонската електродистрибутивна мрежа на град Скопје.

**клучни зборови:** преодни процеси, квалитет на електричната енергија

**SUMMARY**

The recording of transient phenomena at commutation of electric loads or at spontaneous relay triggering and also the voltage sags as means of evaluating the power quality is stressed. Some examples of recorded transient phenomena in the middle voltage network in Skopje city is presented

**key words:** transient phenomena, power quality

## 1. ВОВЕД

Системот за снабдување со електрична енергија е динамичен систем во кој често се случуваат разни промени. Некои од тие промени се свесно направени од субјектите кои го управуваат системот, например операциите на комутирање со цел да се промени вклопната состојба на мрежата и потрошувачите, а некои настануваат спонтано независно од човекот, и обично имаат хавариски карактер (настанок на грешка). Оној кој го погонува енергетскиот систем и оној кој го користи имаат потреба за што поголеми сознанија за сите промени кои настануваат во него. [4],[5].

Многу од сознанијата за ЕЕС се добиваат преку вградената релејна заштита, но и преку аналогни и дигитални симулации и модели. Сепак, мерењето на овие појави никако не губи од значење, туку напротив, преку мерење се добиваат податоци кои се нјаблиску до реалноста

Мерењето на преодните појави досега беше комплицирано и скапо, бидејќи бараше опрема и стручен кадар и други услови. Со појавата на микропроцесорски базираните мерни системи со A/D претворање кои се се поевтини, состојбата се менува во корист на мерењата.

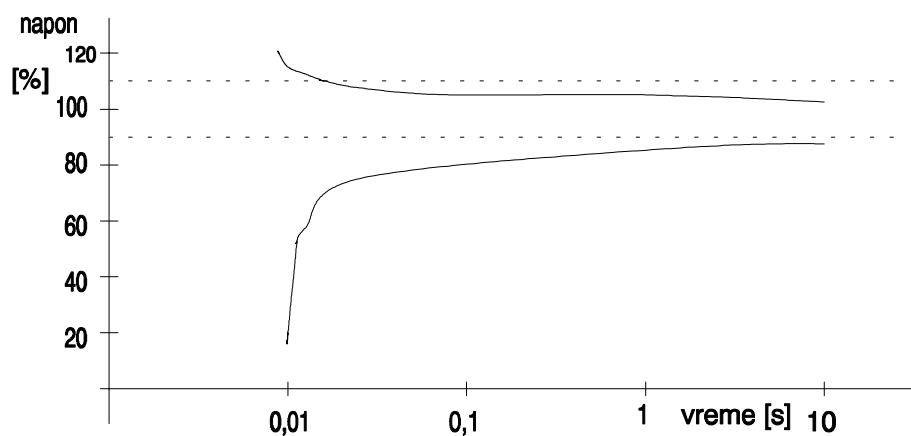
Фреквентното подрачје на преодните појави е различно и опфаќа појви со динамика од неколку килохерци, па се до мегахерци. Овде посматраме појави со пониско фреквентно подрачје, својствени за кусите врски, комутациите, напонските јами и напонски ридови и доземни врски.

Сознанијата за овие појави се важни за оценка на квалитетот на електричната енергија [1]. Например, битно е да се утврдат податоци за зачестеноста и траењето на прекините во напојувањето или надструите кои се јавуваат при вклучувањето на напојните изводи или при куси врски, појавата на напонски јами при стартување на силни потрошувачи (на пример мотори), напонски јами кои се јавуваат при куси врски, струи и напонски ридови при доземни врски, пренапони при исклучување на индуктивитети или вклучување на капацитети и друго [2]. Сознанијата за надструите може да се искористат за оптимално регулирање на надструјната заштита и слично. Би можело да се арбитрира и во случај на спор меѓу испорачателот и корисникот на електрична енергија. И испорачателот на електричана енергија и корисникот може да се мотивирани да спроведат вакви мерења со цел да го утврдат нивото на квалитет на електричната енергија која ја испорачуваат односно ја користат.

На ЕТФ во Скопје постои мерен систем и екипа која може да спроведе вакви мерења [2], [3].

Овде посебно ќе се осврнеме на поимот "напонски јами" (на англиски: voltage sag или voltage dip) кои се важен параметар на квалитетот на електричната енергија [4]. Тие преставуваат кусотрајни намалувања на ефективната вредност на напонот кое трае од 10 милисекунди ( $1/2$  периода на напонот од 50 Hz) па до 3 секунди. Износот на тоа намалувањето се движи од 10 до 90 % (или напонот опаѓа од 0,9 до 0,1 од номиналната вредност). Според тоа нив ги има многу разноврсни и нивно најдобро оценување во една точка на системот е преку статистичка обработка и многу мерни податоци. Напонските јами настануваат при куси врски кои траат кратко време, например се

ликвидираат преку автоматско повторно вклучување, или настануваат како привремени куси врски кои сами се ликвидираат. Тие по правило не настануваат на изводот и точката каде се мери, туку на оддалечен јазол во мрежата. Важноста на напонските јами произлегува од поголемото присуство на специјални и осетливи потрошувачи како што се претворувачите од енергетската електроника (управувани електромоторни погони), потрошувачи контролирани од микропроцесори, телекомуникациони уреди, компјутерски системи и други системи базирани на микропроцесори. Вакви потрошувачи има и во индустријата и во управата и во банките и бизнис центрите, но и во современото домаќинство. Досегашните истражувања довеле до една крива добиена по емпириски пат и која е преставена на сл.1 и преземена е од литературата. Таа е таканаречена СВЕМА крива која служи за оценка на напонските јами.

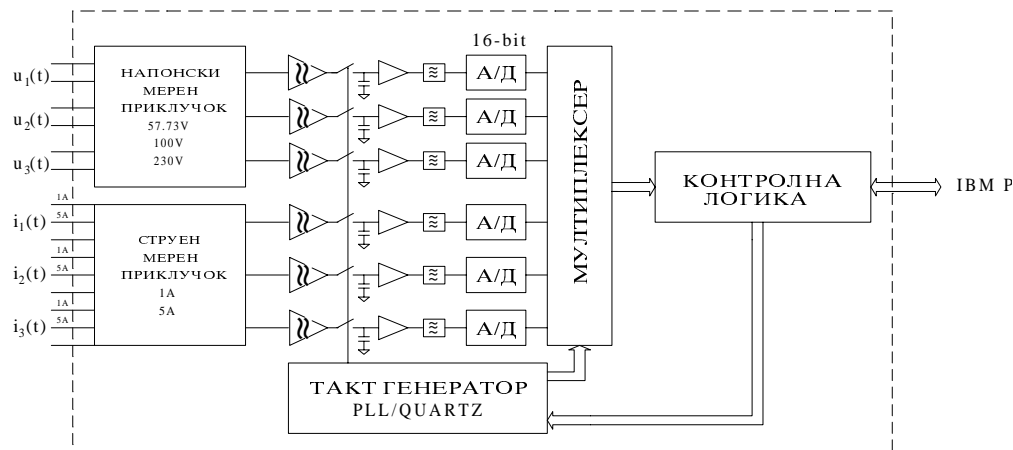


сл.1: Крива СВЕМА за оценка на напонските јами

Ако напонската јама има траење и износ таков што дава точка под долната или над горната линија во сликата 1, тогаш таквата јама е опасна за осетлив потрошувач.

## 2. ОПИС НА МЕРНИОТ СИСТЕМ

Мерниот систем е опишан во [2], [3]. Тој е заснован на персонален компјутер, сл.2, и во состојба е да мери неколку својства на квалитетот на електричната енергија. Некои својства се мерат истовремено, а некои самостојно. Овде не интересира само режимот на мерење "транзиентен рекордер" кој се спроведува како самостоен мерен режим.



сл.2: Блок шема на мерниот систем

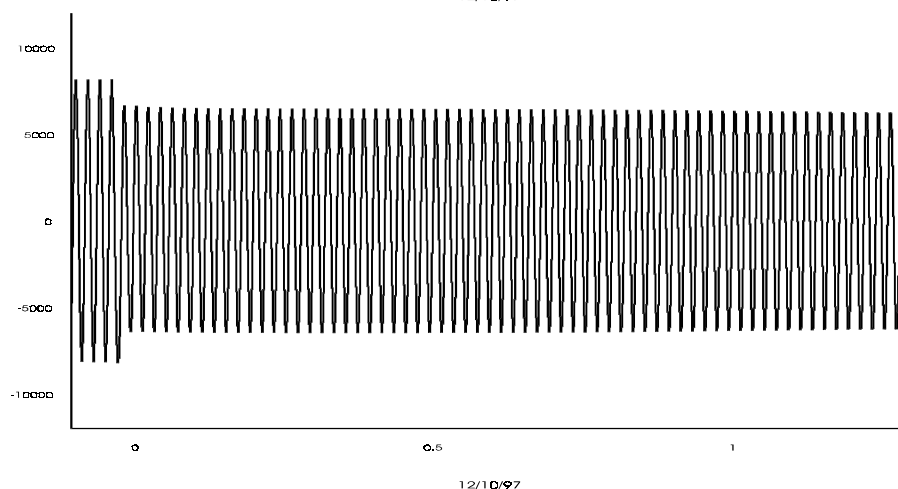
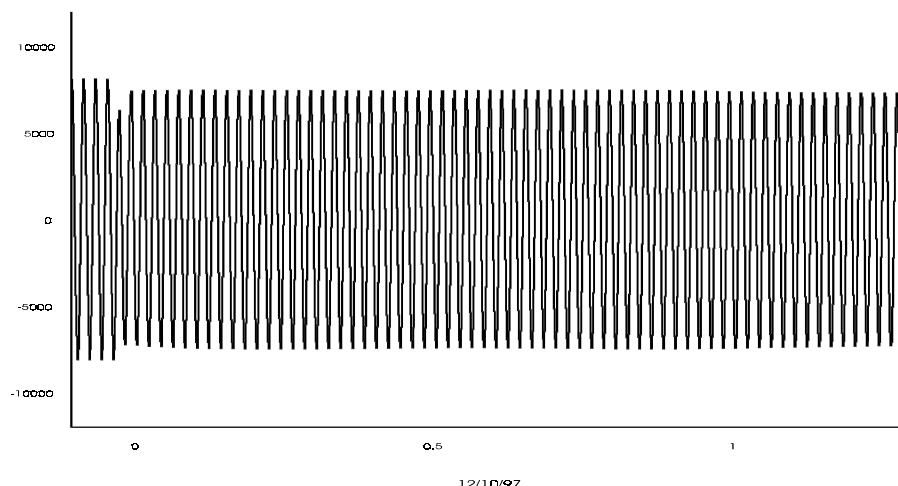
Мерните сигнали доаѓаат на 6 мерни влезови (канали) од кои три се струјни а три напонски. После влезните кола кои вршат галванско одвојување, прилагодување на сигналите, следува А/Д претворање. Вообичаен начин на зафаќање на сигналите е преку вградените мерни трансформатори, напонски и струјни, но ако напонот е низок, можно е и директно зафаќање или пак преку погоден делител (за напонските) или преку струјни клешти (за струјните) сигнали.

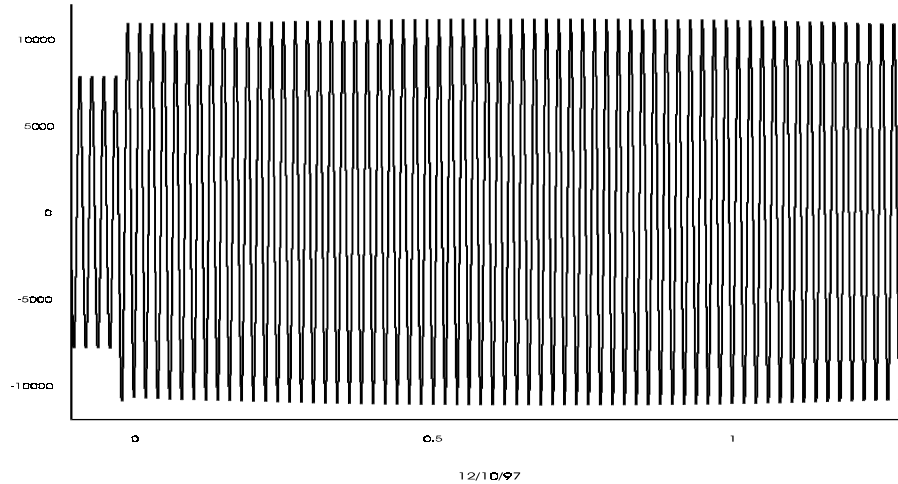
Разделувањето на А/Д претворувањето е 16 битно, што дава висока точност на мерењето. Брзината на земање на примероци е 6,4 kHz што е доволно за сите нискофреквентни преодни појави како што се комутациите (но не е доволно на пример за пренапони предизвикани со удар на молња).

Тригирањето (отпуштањето) е можно на сите напонски и струјни влезови. Струјниот тригер е изведен као надструен. Тоа значи дека делува кога струјата надмине една зададена на почетокот вредност изразена во проценти во однос на номиналниот струен влез. Напонскиот тригер е изведен и како поднапонски и како наднапонски. Всушност напонскиот тригер испитува дали напонот на влезот се разликува за +/- 10% во однос на една зададена вредност. Зададената вредност се дава во проценти од номиналниот напонски влез, пред самото мерење, во процесот на конфигурирање и спремање на инструментот за мерење. Ако сакаме да проработи само надструјниот тригер и снимаме само надструји, треба напонскиот тригер да го поставиме на некоја нереално висока вредност, напр. 500%. Ако сакаме пак да проработи само напонскиот тригер, струјниот го поставуваме на пример на некоја многу висока вредност. Инструментот може да сними преодна појава која трае 5 секунди, од кои една секунда може да се зададе како предходна историја на појавата. Откако инструментот се приклучи, тој постојано ги снима сите влезови во ист дел на меморијата секои 5 секунди, но само ако настане тригирање, појавата трајно се запамтува во надворешната меморија (дискот). Мерењето трае однапред програмиран број појави, зависно од проценката и расположивата меморија. Се разбира, работата на инструментот се управува од специјален софтвер, кој потоа се користи и за презентација на снимените појави.

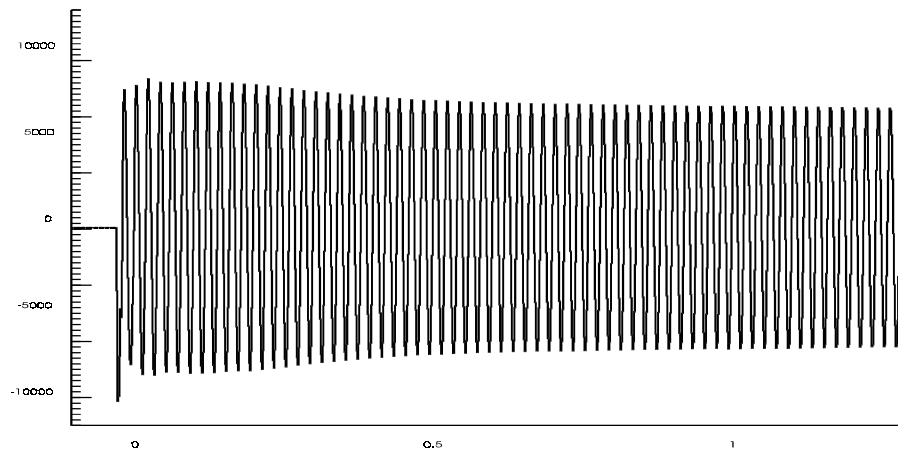
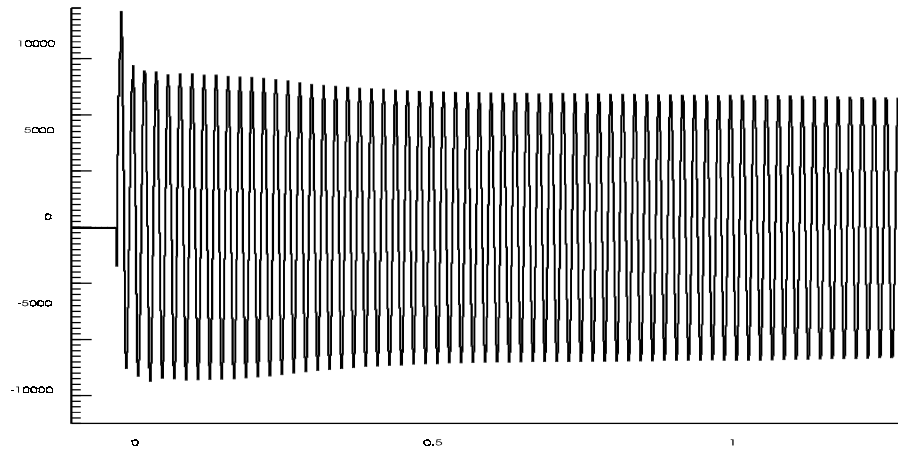
### 3. ОПИС НА МЕРЕЊАТА

Мерењата се спроведени на 10 kV ниво во ТС 110/10 "Васил Главинов" во Скопје на изводот бр.4. Тој извод ги напојува селата кон Скопска Црна Гора и доста е оптоварен, особено зимно време (декември) кога се обави мерењето. Затоа, се очкуваше да настануваат исклучувања заради разни причини, на пример, доземно врски, доземни врски пропратени со куси врски, напонски јами. И навистина, за време на првото дводневно мерење од 10 до 12 декември, регистриравме 5 преодни појави, од кои 3 вклучувања на изводот под напон и 2 вклучувања со истовремена доземна врска. Во 4 дневното мерење од 12 до 14 декември, регистрирани се пак 5 појави, од кои 3 се вклучувања на изводот, а 2 се напонски јами.

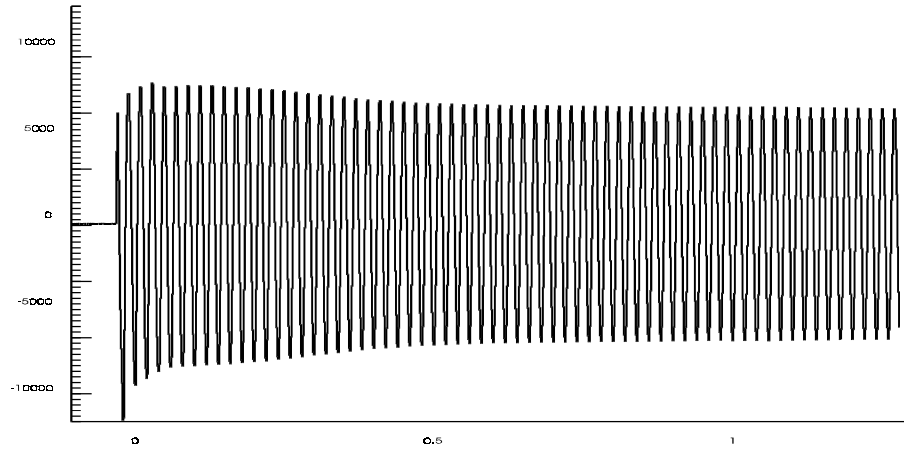




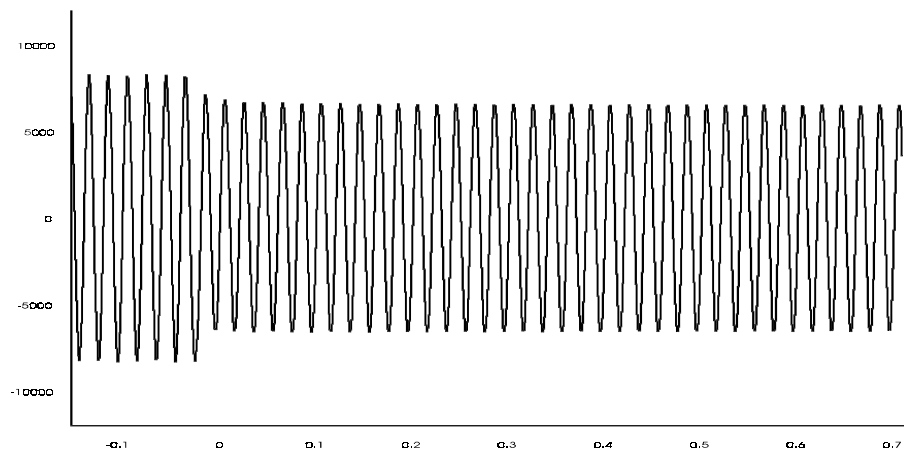
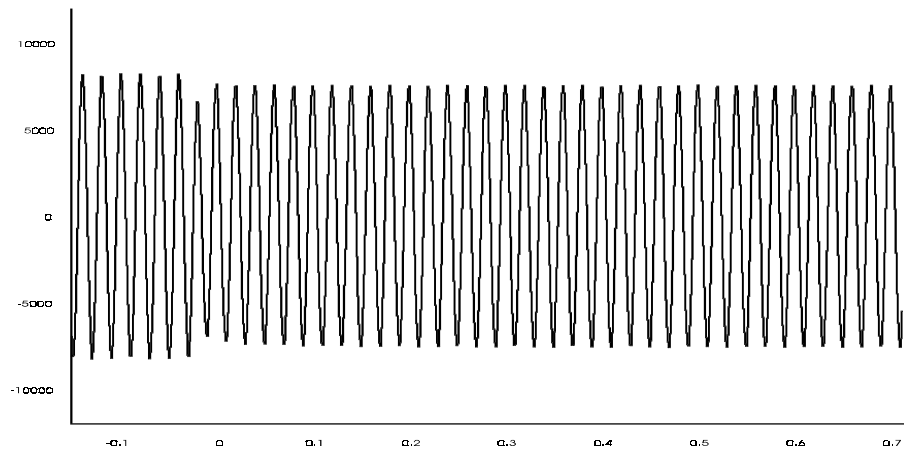
Сл. 3: Изглед на трите напони при преоден процес при кој настанало намалување на двата напони и наголемување на третиот. Единици: -на апсцисата-секунди; на ординатата - волти. (Најверојатно се работи за вклучување со последователна куса врска и доземен спој.)

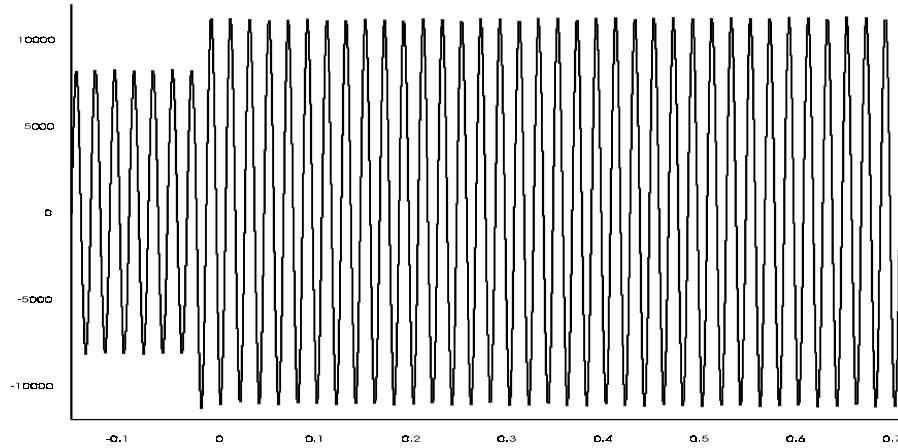




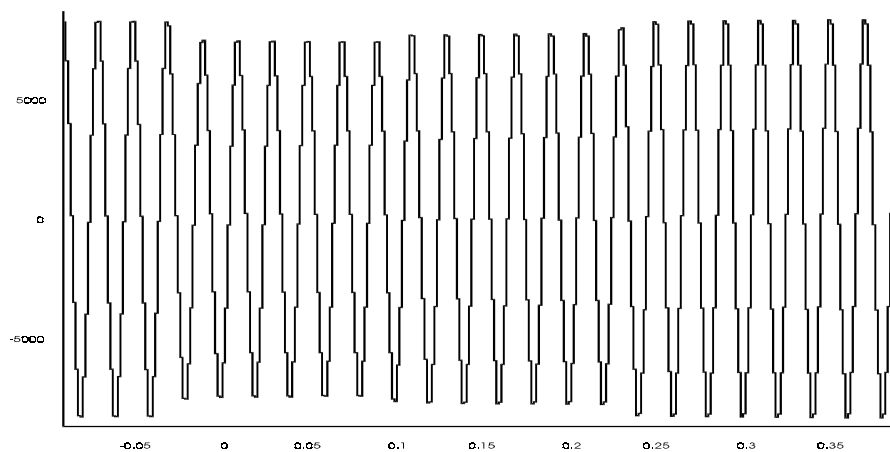
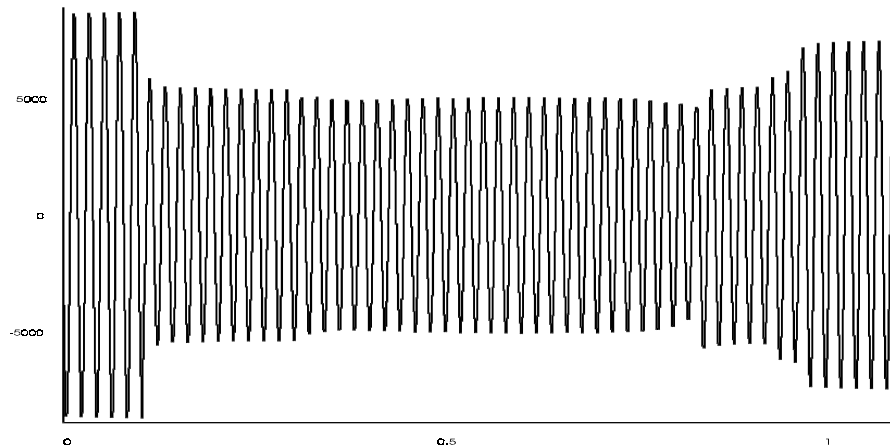


Сл.4: Тек на трите струи во трите фази при преодниот процес од сликата 3. Единици: - на апсцисата - секунди; на ординатата - ампери.

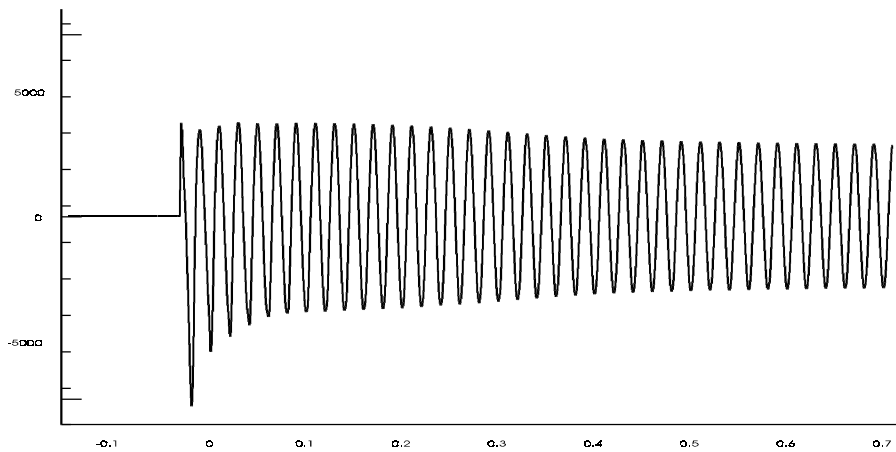
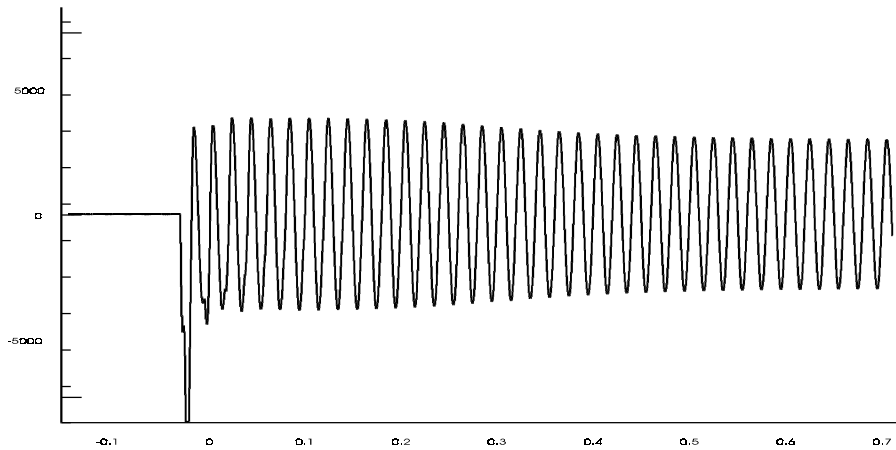
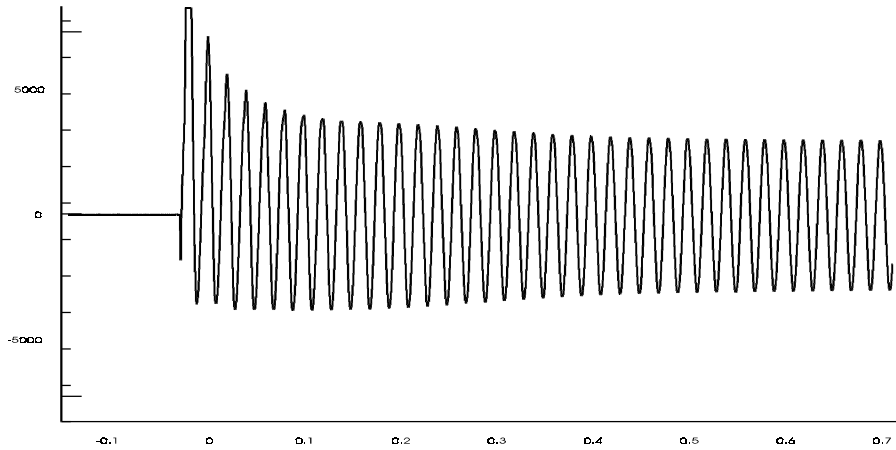




Сл.5: Втор сличен преоден процес како оној преставен на сликата 3, настанат на истиот извод. Единици: на апсцисата-секунди; на ординатата-волти.



Сл.6: Две различни напонски јами настанати на 10 kV собирници во ТС Васил Главинов во дек.1997г. Единици: на апсцисата - секунди; на ординатата - волти.



Сл.7: Тек на струите во случаи на вклучување на изводот бр.4 во ТС Васил Главинов во Скопје Единици: на апсцисата - секунди; на ординатата - ампери.

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Мерењата на преодните процеси во ЕЕС може да бидат многу корисни за добивање на сознанија во процесите во истиот. Особено, ако истите се поврзат со настаните кои за кои имаме сознанија од други извори.

За оваа цел потребни ни се специфични инструменти - транзиентни рекордери, кои во денешни услови се градат базирани на микропроцесори и A/D претворување. Падот на цените на оваа техника овозможува ваквите инструменти да бидат се порисутни.

За подетални студии на квалитетот на електричната енергија во развиените земји се користат специјални изведби на вакви инструменти кои се поставуваат стационарно на многу места истовремено во ЕЕС. Нивното очитување се врши автоматски, преку модеми во еден централен компјутер, која прави и статистичка обработка на настаните, без кое не може да се даде исцрпна оценка на квалитетот на електричната енергија.

Со користење на само еден мерен систем како во опишаниот труд, можно е да се спроведат само "оценки на случаи" (case study) во некои точки на енергетскиот систем и истовремено само некои параметри на квалитетот на електричната енергија, и тоа било кај испорачателот (или за негова информација) или кај корисникот на електрична енергија, и за негова сметка. Првиот субјект обично е заинтересиран да ја утврди фактичката состојба на квалитетот на електричната енергија која ја испорачува, а вториот, да утврди колкави му се штетите заради недоволниот квалитет и колку тоа го чини, со цел евентуално дел од тие средства да вложи во мерки за подобрување на истиот, доколку има методи и можности тоа да го направи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Николоски Љ. Рафајловски Г. Малиновски В.: "Квалитет на електричната енергија-основни поими", Енергетика бр.12, Скопје 1977.
- [2] Рафајловски Г., Николоски Љ., Малиновски В.: "Квалитет на електричната енергија, мерни системи и опрема", Енергетика бр.14, Скопје 1997.
- [3]Nikoloski L. Rafajlovski G. Voltage Quality-First experiences in Republic of Macedonia, 2nd International Conference on Electrical Equipment, Diagnosis, Electrical Energy Quality, Pula, Sept. 1997, Croatia.
- [4] Katic V., Voltage Sags as Power Quality Parameter, Втор семинар за квалитет на електричната енергија, ЕТФ Скопје, Октомври 1977г.
- [5] Sabin D. Sundaram A., Quality Enhances Reliability, IEEE Spectrum, Vol 33, No.2, pp 34-41, Feb. 1996.

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ - СИГРЕ,  
СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

-----

Љубомир Николоски; Горан Рафајловски  
Електротехнички Факултет Скопје

Венцислав Малиновски

Јордан Измирлиев; Велимир Сенковски; Мирослав Поповски  
Електростопанство на Македонија

## **ИСТРАЖУВАЊЕ НА ВИШИТЕ ХАРМОНИЦИ ВО ДИСТРИБУТИВНАТА МРЕЖА**

### **СОДРЖИНА**

Квалитетот на електричната енергија во денешни услови е во фокусот на интересот како кај производителите, така и кај корисниците на електричната енергија. Овој поим е многустран и тешко е да се оценат сите аспекти наеднаш. Овој труд се концентрира пред сè на изобличувањето на напонот како главен аспект на квалитетот на напонот. Исто така, опишани се и можностите за мерење на напонските пропади.

На Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во тек е научно-истражувачки проект за оценка на квалитетот на електричната енергија во Република Македонија. Овде даваме кус осврт на мерната стратегија и методологија за енергетската мрежа во Македонија. Тие мерења имаат карактер на „студија на случај“. Опишан е и мерниот систем и резултатите од долготрајните мерења на вишите хармоници спроведени главно во среднонапонската електродистрибутивна мрежа во Скопје. Мерните периоди обично траат по 7 дена, а се обавуваат во различни локации. Дадени се и примери на мерните резултати.

**клучни зборови:** виши хармоници, дистрибутивна мрежа

## ABSTRACT

Power quality nowadays is growing concern both in utility and consumers. It has many aspects, and it is difficult to evaluate them all at the same time. This paper focuses itself mainly on the voltage distortion measurement as a main aspect of voltage quality. Possibility of voltage sags and flicker measurement is also given.

At the University “Sts Cyril and Mertodij” Skopje, Macedonia, a research program for assessing the voltage quality in power system has been started. A short description of measurement strategy and methodology for the power network at Power Company of Macedonia (ESM) is presented. They are carried out as a case studies. In this paper the measuring system is described and the results of long term harmonic measurement conducted mainly in the middle voltage network of ESM. Measurement sessions lasted 7 days and were carried out at different locations. Some measurement results and discussions are given at the end.

**key words:** high harmonics, distribution network

## 1. ВОВЕД

Во последните декади нивоите на хармониците доста се наголемени заради присуството на претворувачите на енергетската електроника и другите нелинеарни товари. Се очекува дека овој тренд ќе продолжи или ќе се забрза во наредниот период. Познато е дека вишите хармоници предизвикуваат многу негативни ефекти [1].

Затоа, вишите хармоници станаа константна грижа за специјалистите за енергетика. Многу држави поставија гранични вредности за хармониците и на тој начин настојувајќи да го спречат натамошното нарушување на квалитетот на напојниот напон. Исто така, постојано се финансираат и студии за истражување на квалитетот на електричната енергија. Притоа на мерењето на вишите хармоници му се посветува посебно внимание.

Зачестеноста пак на напонските јами, како друг важен аспект на квалитетот на електричниот напон, зависи пред сè од општата техничка состојба на електроенергетскиот систем. За да се истражува овој аспект потребни се голем број на мерни инструменти и финансиски средства.

Во земјите на таканаречениот „транзиционен период“ (источна Европа), очигледно се намали индустриското производство и некои аспекти на квалитетот на електричната енергија како да се подобруваат сами од себе. Но сепак, потребно е и таму да се истражува проблемот на квалитетот на електричната енергија, од една страна затоа што тој досега не беше многу истражуван, а од друга страна се очекува во блиска иднина и таму индустриското производство да зајакне. А стапката на пораст на бројот на нелинеарни потрошувачи со мала моќност од така наречената

потрошувачка електроника, брзо расте и во овие земји Такви се аудио-визуелните апарати, персоналните компјутери и друго.

Негативните ефекти на недостатниот квалитет на електричната енергија на моменти се покажуваат и во Електростопанството на Македонија. Понекогаш, заради недоволни сознанија, последиците се припишуваат на други причини, на пример слаба изолација. Истражувачкиот проект кој се работи сега, за првпат во Македонија ќе се позабави со мерења и анализа на некои аспекти на квалитетот на електричната енергија.

## **2. ПЛАН НА РАБОТА НА ИСТРАЖУВАЊАТА НА КВАЛИТЕТОТ НА ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА**

Мерењата и истражувањата по горе наведениот истражувачки проект ќе се обавуваат како студии на случаи (case study) кои се спроведуваат на разни места во Електроенергетскиот систем. Во дистрибутивниот систем тие места се главно на 10 kV и на 0,4 kV, но исто така и на одбрани места кај потрошувачите и во индустријата, како и во станова и канцеларии. Интересни се и специјални места како ТВ студија. За почеток ја одбравме дистрибутивната мрежа. Мерните места се избираат поаѓајќи од некои својства кои се обединуваат во карактеристични групи. На пример, шест типични видови на потрошувачи би биле:

1. Населби со станова каде доминираат колективни станбени згради;
2. Населби со индивидуални куќи;
3. Мешани области, градски центри со канцеларии и трговски куќи;
4. Универзитетски кампуси; приградски населби, мали градчиња или села;
5. Индивидуални индустриски потрошувачи со интензивна потрошувачка на енергија.

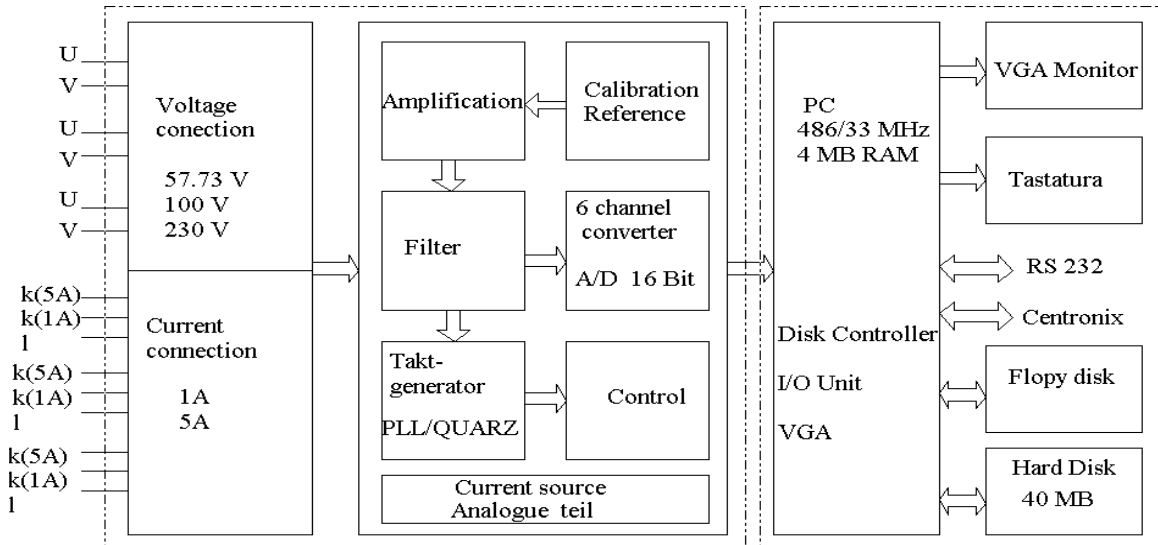
Обично се избира еден 7 дневен период на време за секое мерно место, како најповолно за оценка на нивото на хармониците.

Целта на мерењата е да се добие слика за хармониските изобличувања во енергетската мрежа на ЕСМ, нивните извори и по можност да се регистрираат и други параметри на квалитетот, као напонските пропади и фликерот. Користејќи го тоа знаење, се планира да се споредат резултатите со веќе постоечките стандарди и препораки и да се воспостави процедура за одобрување на приклучок на нелинеарните потрошувачи во ЕСМ.

## **3. ОПИС НА МЕРНИОТ СИСТЕМ**

Мерењата се спроведуваат користејќи специјално проектиран мерен систем базиран на персонален компјутер кој припаѓа на последните сфаќања и трендови во оваа област. Тој е од германско производство и добиен е како подарок од високата

електротехничка школа од Билефелд, Германија. Блок шемата на мерниот инструмент дадена е на сл. 1



сл. 1: Блок шема на компјутерски базираниот мерен систем за оценка на квалитетот на електричната енергија.

Мерниот систем наречен NRM III може да мери и да оценува неколку аспекти на квалитетот на напонот на местото на приклучокот. Тој може да ги мери содржината на вишите хармоници до (50 - ти ред), несиметријата и фликерот. Сите мерни функции се спроведуваат на трите фази (три напонски и три струјни сигнали се мерат истовремено).

Мерните сигнали се зафаќаат преку мерните трансформатори (напонски и струјни) кое е згодно ако се мери во енергетскиот систем на висок и среден напон. Постои галванско одвојување преку оптички врски до Д/А претворувањето. Струјните сигнали се зафаќаат преку Hall -ови претворувачи.

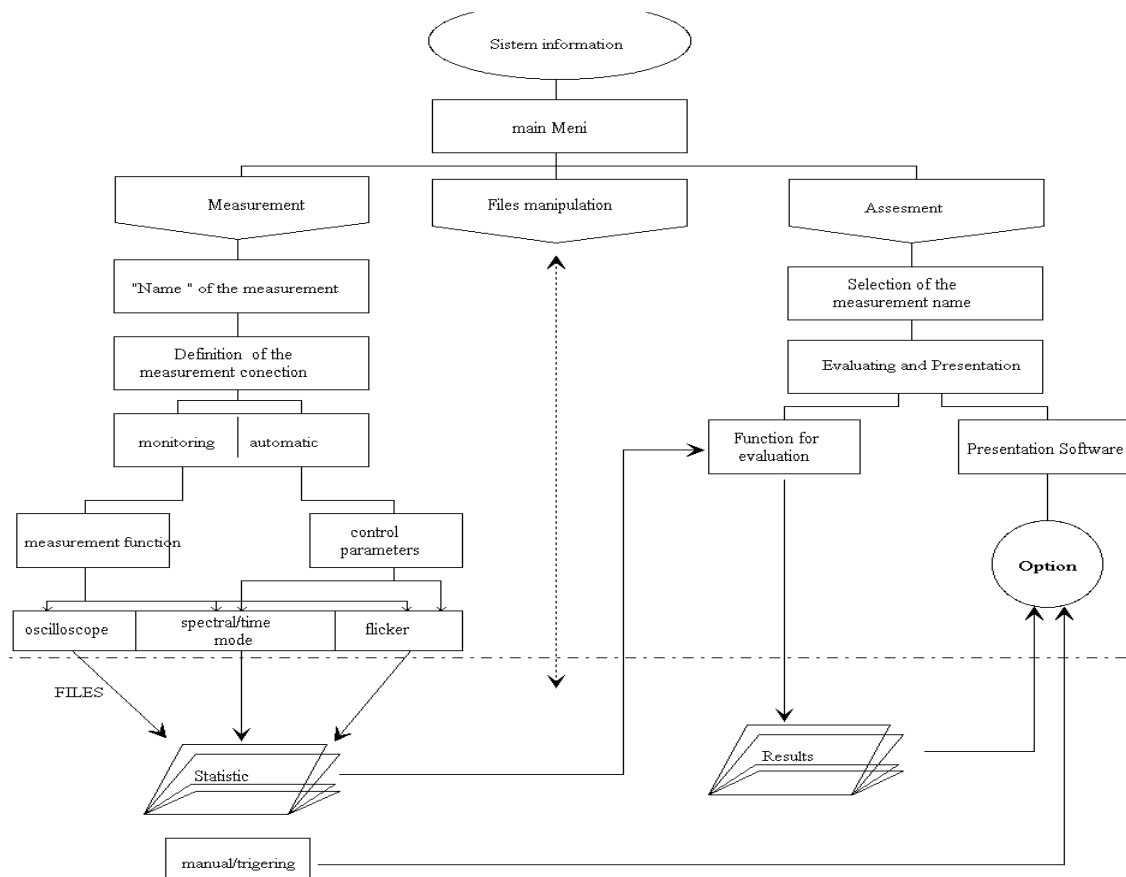
Инструментот има А/Д претворба од 16 бита, а зависно од мерната задача, системот има различна фреквенција на земање примерок („семплирање“): За мерење фликер тој користи 400 Hz, за спектрална анализа - 5,6 kHz, за осцилоскопско мониторирање - 12,5 kHz и за мерење во режим на транзиентен рекордер - 6,4 kHz.

Пресметката и оценката на мерните резултати се обавува во согласност со техничките препораки и стандарди, како IEC 1000-2-2, DIN VDE 0838, DIN EN 6055 i DIN VDE 0846. [4].

Мерниот систем се состои од контролна единица (PC), мерна единица каде се наоѓаат колата за кондиционирање на мерниот сигнал и А/Д претворање, и прибор за поврзување.

Софтверот кој се користи за спроведување на мерењата [5], [6], за оценка и презентација на резултатите се инсталира на PC, најдобро на преносен тип. Мерењата може да се одделат од оценката и од презентацијата, а тоа може да се направи „Off line“ во погодна околина. Структурата на софтверот дадена е на сл. 2





сл.2: Софтверска структура на мерниот систем

Постојат два мерни начина: мониторинг и автоматски начин. Некои мерни функции се можни единствено во мониторинг начинот (на пример, осцилоскопската функција), а некои се можни и во обата начини. Во мониторинг начин е можно да се меморираат податоците во текот на времето. Можно е само да се посматраат мерените величини и да се запамтат само цели екрани од мониторот. Во автоматскиот начин, сите мерни величини се меморираат за целото време на мерењето во компримирана форма. После обавувањето на мерењето, податоците се декомпримираат, оценуваат и презентираат во „off line“ начин. Не е можно да се спроведат сите мерни функции истовремено. Единствено спектралната анализа и фликерот може да се мерат во ист начин но само во консекутивни наизменични временски интервали. Функцијата на транзиентен рекордер може да се спроведе само како самостојна функција. Спектралната анализа може да се спроведе самостојно и како мониторинг и како автоматска функција. Истото важи и за фликерот. Постојат различни временски интервали за усреднување на мерните величини при авоматското мерење. Истите може да се одбираат пред почетокот на мерењето. Тие се 1 секунда (само за куси мерења), 1 минута (најчесто користен интервал за усреднување), 10 минути и 15 минути. Подолгиве интервали се погодни при спроведување на енергетските мерења. Имено, после обработката, автоматското мерење со спектралната анализа како нузпродукт ги дава и моќностите во тек на времето.

Несиметријата пак, која исто така се мери при ова, е дефинирана како однос на инверзната кон директната компонента на трифазниот систем и може да се измери само ако се примени трифазно приклучување на мерниот инструмент. Амплитудите на хармониците исто така може да се дадат и статистички обработени во дијаграм на релативната и дијаграм на кумулативната зачестеност (веројатност).

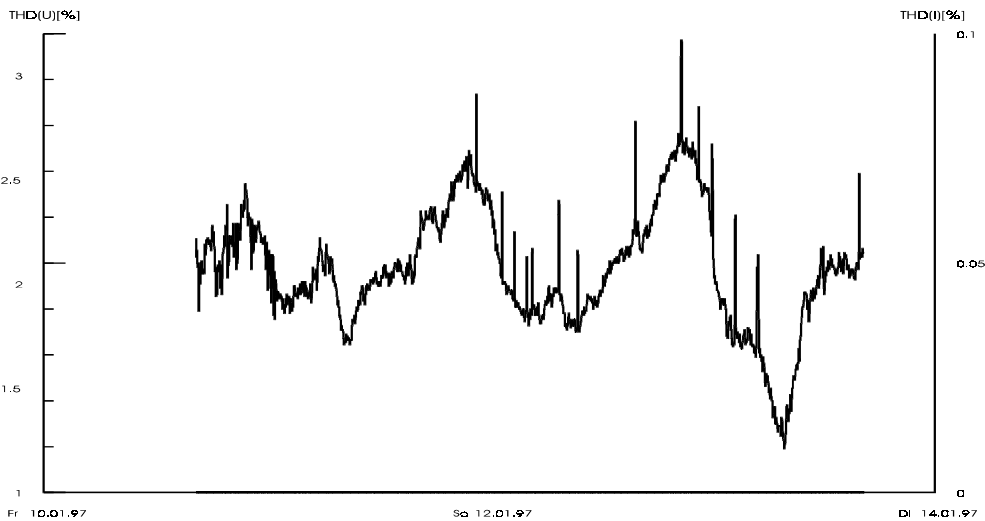
При мерењето на фликерот, може да се мери како моменталниот фликер, така и кусотрајниот и долготрајниот фликер.

Со функцијата на транзиентниот рекордер може да се мерат преодни процеси како ште се преодните процеси при вклучување и исклучување на товари, или пак напонски пропади. Преодната појава вкупно може да трае до 5 секунди, заедно со времето пред тригирањето.

#### 4. МЕРНИ РЕЗУЛТАТИ

Мерењата беа спроведени во 4 различни локации во Скопје. Тие обично траеа по 7 денови. Мерните места не можеа секогаш да се припишат на чист тип на потрошувачи како е кажано погоре. Тоа беше најчесто заради фактиот што меревме во напојни точки на 100/10 kV трафостаници, на изводи кои снабдуваа поголеми региони од градот. Но сепак, во голема мера беше познат типот на потрошувачите и секогаш некои типови се доминантни.

Првото мерење го направивме во просториите на ЕТФ во Скопје на една 230 V приклучница. Резултатите од 3 дневно мерење на целосното хармонично зобличување (THD) на фазниот напон дадено е на сл.3.

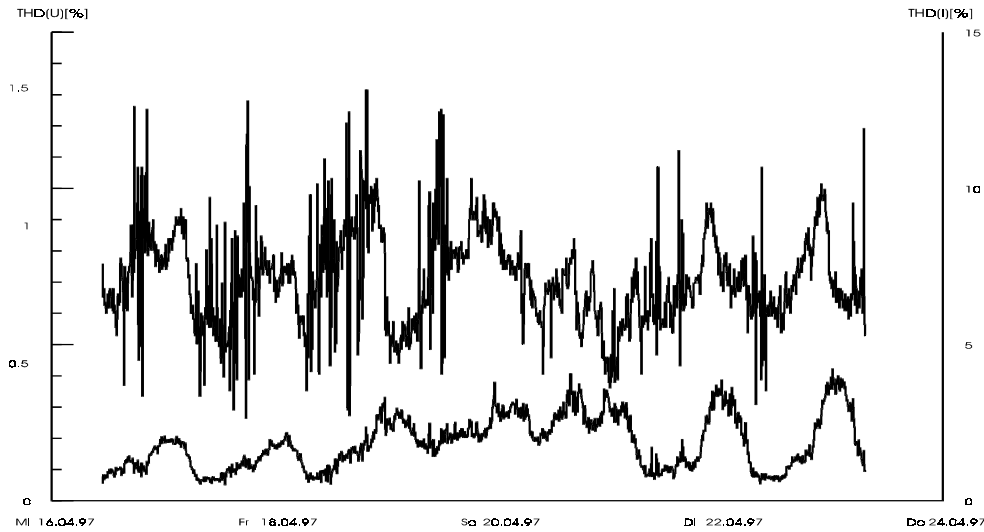


сл.3: Тридневно снимање на изобличувањето на фазниот напон на 230 V ниво при ЕТФ во Скопје

Приметуваме битно поголеми изобличување во вечерните часови. Ова може да се објасни на сличен начин како што е објаснето подолу во врска со мерењето во

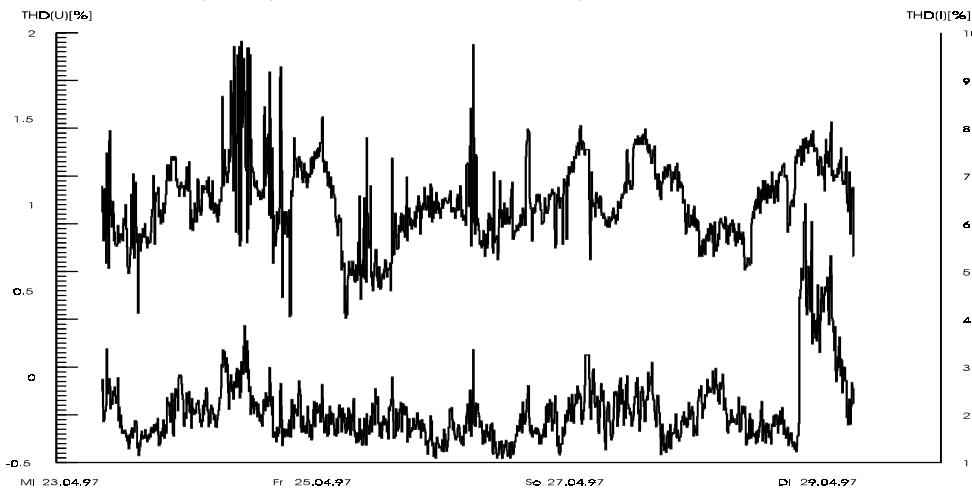
конзум со претежно станбена област. Доминира петтиот хармоник. Сепак, нивото на хармониската изобличеност е помала од онаа која е пропишана во стандардите.

Натаму, на сл.4 дадени се резултати од мерењето спроведено на 35 kV ниво во трафостаницата 35/10 наречена „индустриска“ во Скопје. Мерењата се спроведени на 35 kV страна врз напонот и струјата која ја зема еден од двата 8MVA трансформатори (другиот беше исклучен во моментот на мерењето). Овој товар е претежно од индустриски тип (проценка околу 75% индустриски), но има и станбени области кои се снабдуваат од оваа трафостаница. Петтиот хармоник најдовме дека е максималмно 1,3 % а седмиот околу 0,35%.



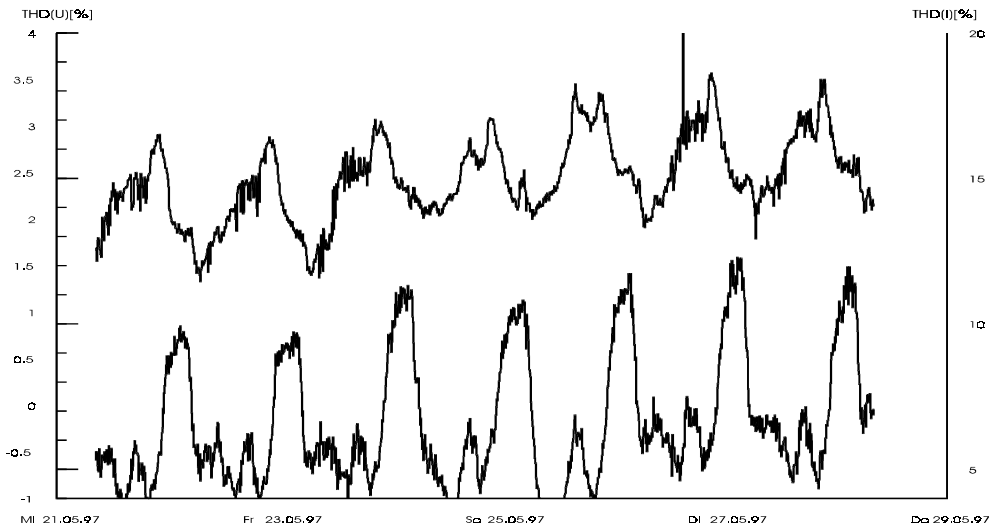
сл.4: Изобличување на напонот и струјата на 25 kV ниво во ТС Индустриска во Скопје

Во истата трафостаница на 10 kV ниво мерен е напонот и струјата на еден од изводите (пивара) Ова е секако еден чисто индустриски товар. Сега третиот хармоник изнесуваше максимално 0,3%, петтиот до 1,5%, а седмиот 1,2 % Максималната изобличеност (сл. 5) не е поголем од 2%).



сл.5: Изобличување на напонот и струјата на 10 kV извод во ТС Индустриска“ во Скопје (извод Пивара)

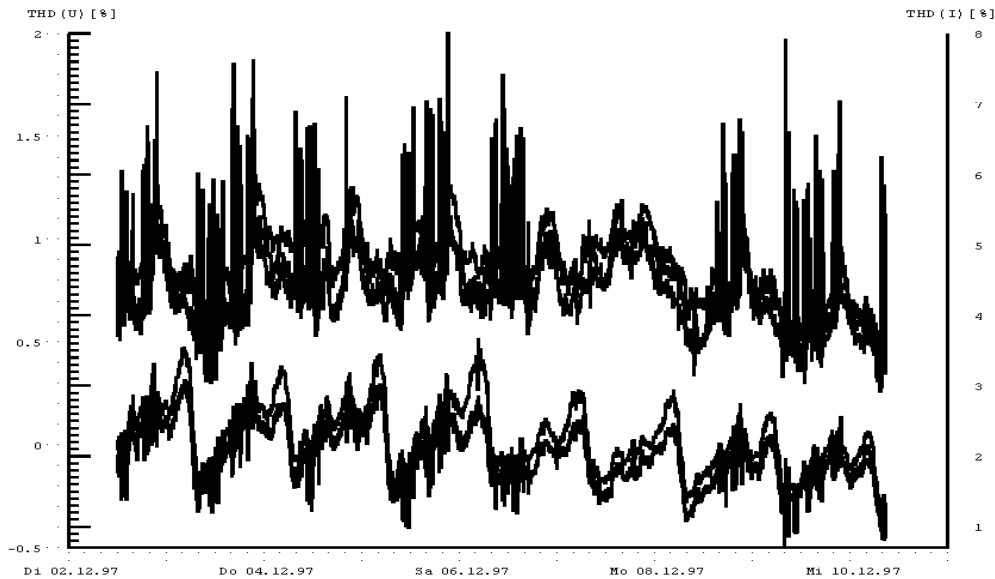
На сликата 6 престаено е изобличувањето на напонот и струјата на 10 kV извод кој снабдува еден чисто станбен дел на Скопје со високи станбени згради. Значи тоа се скоро исклучиво домаќинства во станови (Аеродром) Тука е доминантен 5 -тиот хармоник во напонот, кој е карактеристичен за нелинеарните еднофазни испрваувачи, присутни во домаќинствата. Третиот хармоник достигнува до 0,6%, петтиот до 3,4 %, а седмиот 1,4%. Максималното изобличување на напонот достигнува до 4%. Многу карактеристично е периодичното менување на THD текот во времето: наутро и ноќе ниски вредности, а навечер највисоки. Општо е мислењето дека најголеми виновници за ова се TV апаратите.



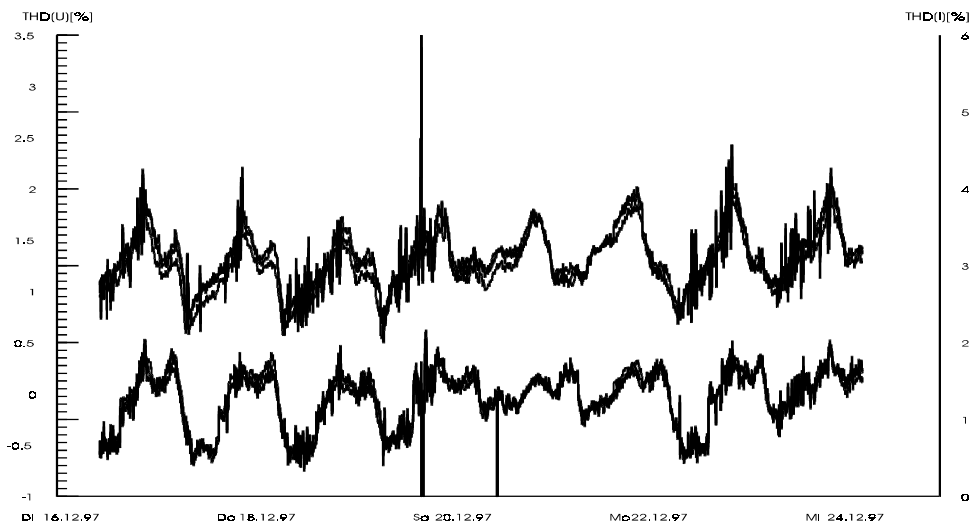
сл.6: Изобличување на напонот и струјата во станбена област (високоградба) во населбата Аеродром на 10 kV ниво.

На сликата 7 е даден интересен податок. Изобличување на напонот и струјата која ја зема еден напоен 110/10 kV трансформатор во ТС „Главинов“ во Скопје. Областа која се снабдува е претежно станбена (северноот дел на Скопје), но може да се припише и 1/3 од товарот и на индустријата. Во напонот од вишите хармоници доминираат петтиот (до 1,1%), третиот (до 0,6%), а седмиот (до 0,5%).

Резултатите кои се престапени на сликата 8 снимени се на изводот бр. 4 во ТС „Главионов“ Тој извод ги напојува селата кон Скопска Црна Гора и тоа се претежно индивидуални куќи, селски тип населби. Може да се припише и 1/3 индустриски товар. Хармоничното изобличување е помало одошто кај густо населената станбена област (сл. 6), при што третиот хармоник во напонот оди до 0,5%, петтиот до 2,2% и седмиот до 0,75%. Заради тоа што мерењето беше спроведено зимно време и овој извод беше проптоварен, имаше и испади, што се гледа од дијаграмот на струјното изобличување на сл.8.



сл.7: Изобличување на напонот и струјата (сите три фази) на 110 kV ниво на трансформаторот 110/10 kV со сила 35 MVA во ТС „Главинов“ во Скопје



сл.8: Напонски и струјни изобличувања на изводот бр. 4 на 10 kV ниво во ТС „Главинов“ (извод бр. 4) кој ги напојува селските населби на север од Скопје.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Од прикажаните резултати се гледа дека со опишаниот инструмент можеме да спроведуваме студии на случаи и да оценуваме различни аспекти на квалитетот на електричната енергија.

Резултатите од мерењата на вишите хармоници покажуваат дека се присутни виши хармоници и во напонот и во струјата, од кои петтиот е доминантен во подрчја со претежно станбени области, додека петтиот и седмиот- во индустриски области. Интересно е да се забележи дека во станбените области, нивото на изобличеност изразено преку THD е повисоко од одошто во индустриските. Тоа може да се припише на намалената индустриска продукција во последните години.

Главната причина на за ова во станбените области како и во мешаните (индустриско-станбени и комерцијални) се ТВ приемниците и други апарати со еднофазни исправувачи (РС, радио, аудио и видео опрема, видео игри и слично). Во индустријата, хармониците се генерираат од јакострујната електроника, главно трифазните претворувачи, било да се управувани за DC мотори или неконтролирани за AC мотори (исправувачи-инвертори).

Сепак, во сите измерени случаи, хармониците се најдоа под граничните вредности и со тоа се увидува дека резервите за изобличување на мрежата не се сосема искористени. Притоа, за граница нека го земеме износот од 5% за изобличувањето на напонот, кој е според ИЕЕЕ препораките (овие се малку построги одошто Европските норми). Следува дека и за нас овој или сличен лимит би бил прифатлив.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] J Arillaga, D. Bradley, P. Bodger: "Power System Harmonics", J. Wily & Sons, Chichester, 1985.
- [2] V. Katic: Computer based harmonic measurement systems: Discussion and realisation, IEEE - Int. Conf. on Harmonics in Power Systems, ICHPS, V, Atlanta, Sept.1992, pp. 16-22.
- [3] Dirk Blume: Informationstechnische Analyse Leitungs-gebundener Netzruckwirkungen, Dissertation Uni Dortmund 1994.
- [4] Standards: IEC 1000-2-2; DIN VDE 0838; DIN VDE 0846; VDE 0839; IEEE 519.
- [5] Ljubomir Nikoloski, Goran Rafajlovski: Voltage Quality - First Experiences in Republic of Macedonia, 2nd International Conference on Electrical Equipment Diagnosis, Electrical Energy Quality, Pula, Sept. 1997, Croatia
- [6] J. Schlabbach: Expert system measures harmonics and EMC. IEEE - CAP (Computer Applications in Power), Bd. 7 No3, July 1994, pp 26-29.

# **МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ - СИГРЕ СКОПЈЕ;**

## **ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ**

-----  
Горан Рафајловски  
Љубомир Николоски  
Електротехнички Факултет Скопје

### **ВИШИ ХАРМОНИЦИ КАКО ПОВРАТНИ ВЛИЈАНИЈА ВРЗ МРЕЖАТА**

#### **РЕЗИМЕ**

Во трудот е прикажано влијанието на вишите хармоници врз квалитетот на електричната енергија. Даден е пример како да се изврши аналитичка оценка на нивото на подносливост. Нагласена е потребата за анализата на повратните влијанија на вишите хармоници пред одобрувањето на согласност за приклучување на еден нелинеарен потрошувач на енергетската мрежа. Елаборирани се основните принципи за контрола на хармониците како и примена на против мерки за нивно намалување.

#### **ABSTRACT**

In this paper the influence of harmonics to the voltage quality is shown. One example for analytical assessments of electromagnetic compatibility level is given. We have stressed the need of harmonic distortion analysis before the approval non-linear Load connection on the Utility Network. The basic principles of controlling harmonics and some counter-measures are presented.

#### **1. ВОВЕД**

Современите енергетски постројки се незамисливи без употреба на полупроводни елементи (диоди, транзистори, тиристори и сл. ) кои се составен дел на најразлични енергетски преобразувачи. Од своја страна овие енергетски преобразувачи заедно со најразлични регулирани електромоторни погони претставуваат еден од основните извори на виши хармоници во енергетскиот систем. Покрај нив како загадувачи на мрежата со виши хармоници се јавуваат електролачните печки, флуоресцентните сијалици, разни потрошувачи со нелинеарна U-I карактеристика, најразличните апарати во домаќинствата. Степенот до кој може да се толерира процентуалната застапеност на вишите хармоници е определен со чувствителноста на товарот и енергетскиот извор на самите

хармоници. Терминот "Квалитет на електричната енергија" ги опфаќа сите проблеми кои се манифестираат преку девијации во напонот, струјата или фреквенцијата и кои во крајна линија резултираат во грешки или погрешно функционирање на инсталираната опрема на корисникот [1, 2].

## 2. НИВО НА ПОДНОСЛИВОСТ

Нивото на подносливост е способноста на еден уред да функционира исправно без притоа недозволено да влијае врз другите приклучени уреди во неговата електромагнетна околина [3]. Вишите хармоници влијаат на другите елементи во мрежата како кондензаторите. Нивното влијание е регулирано со ANSI/IEEE Standard 18-1980. Влијанието врз енергетските трансформатори се согледува преку зголемување на ефективната вредност на струјата што води до дополнителни загуби во проводниците, појава на т.н Eddy current загуби пропорционални со фреквенцијата на квадрат како резултат од индуцирани струи во сите проводни делови од трансформаторот. Оваа проблематика е третирана во ANSI/IEEE Standard C57.110. Влијанието на вишите струјни и напонски хармоници врз моторите се согледува врз намалување на коефициентот на полезно дејство, зголемено загревање, бучава и вибрации. Според IEEE Standard 519-1992 не потребно дополнителна интервенција ако факторот на тотална хармонична дисторзија  $THD < 5\%$  или факторите на пооделните хармоници се помали од 3%. Значителни проблеми со загревање на моторите се јавуваат во случаеви кога дисторзијата на напонот изнесува 8% до 10%. Во табела 1 е дадена типичната процентуална хармонична дисторзија на струјата на некој карактеристични извори на виши хармоници. Со \* се означени трети хармоници на струјата при небалансиран трифазен товар или при еднофазно оптоварување. Во други случаеви се претпоставува дека триплите хармоници се нула.

Табела 1

Хармоник	6 пулсен брзински регулиран погон ASD	PWM погон	Електролачни сијалици	SMPS извори
1	100	100	100	100
3			20*	70
5	18	90	7	40
7	12	80	3	15
9			2.4*	7
11	6	75	1.8	5
13	4	70	0.8	3

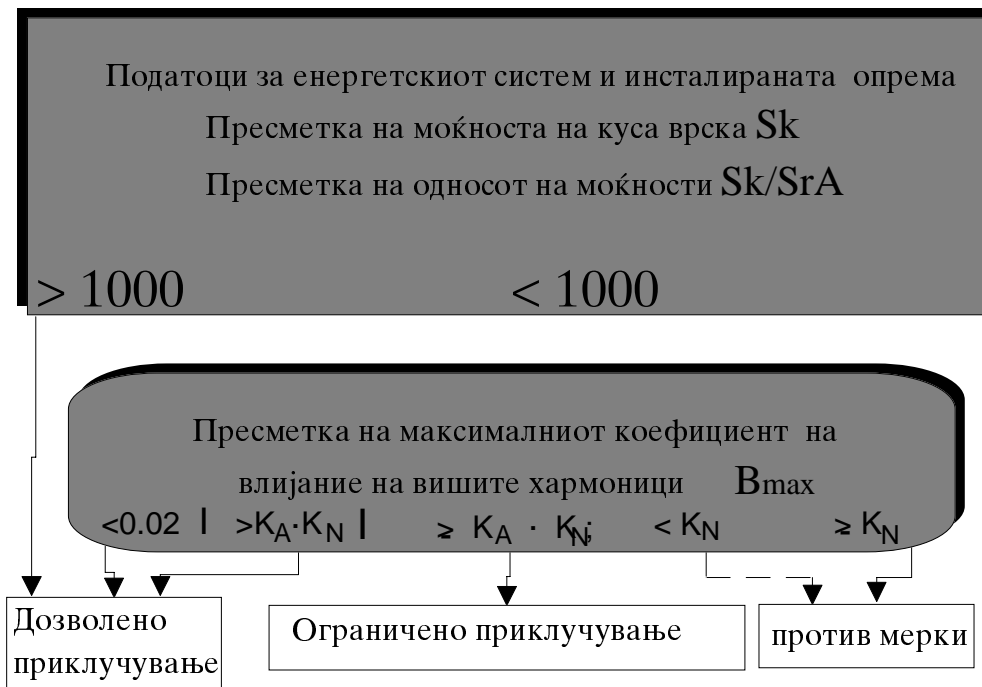
ASD Adjustable - speed drive

Забележително е дека кај регулираните електромоторни погони доминантно е нивото на петиот хармоник од 18%, додека тоа ниво кај широчинско импулсно модулираните енергетски преобразувачи кои се користат за PWM регулација на наизменичните погони може да достигне и запрепастувачки 90 проценти, особено при ниски брзини.



### 3. ОЦЕНКА НА ВИШИТЕ ХАРМОНИЦИ

Пред да се приклучи даден уред кој може да преставува значаен извор на виши хармоници на мрежата потребно е да се изврши мерење и оценка на влијанието на вишите хармоници врз мрежата и другите уреди приклучени во негова околина. На сл.1 прикажан е еден прегледен блок дијаграм на редоследот на чекорите кои би требало да се применат при оценка на влијанието на вишите хармоници.



Сл.1 Блок дијаграм за оценка на влијанието на вишите хармоници

#### 3.1 Еден практичен пример

За нагледно да се прикаже текот на оценката на вишите хармоници илустративно ќе се покаже на примерот на приклучување на пет електромоторни погони со еднонасочни машини напојувани преку шестпулсен неуправуван струен исправувач (сл.1). Елементите прикажани на сл.1 ги имаат следниве карактеристики:

Напон на напојување

$$U_n = 400V$$

Моќност на мрежниот трансформатор

$$S_{rT} = 0.63 MVA, u_k = 4\%$$

Моќност на куса врска (10 kV)

$$S_{kQ} = 140 MVA$$

Највисока моќност на мрежата

$$S_{Mr} = 0.5 MVA$$

Приклучна моќност на потрошувачот

$$S_{prkl} = 0.3 MVA$$

Моќност на електромоторните погони

$$P = 4 \cdot 20 kW + 1 \cdot 10 kW$$

КПД во номинален режим (погон)

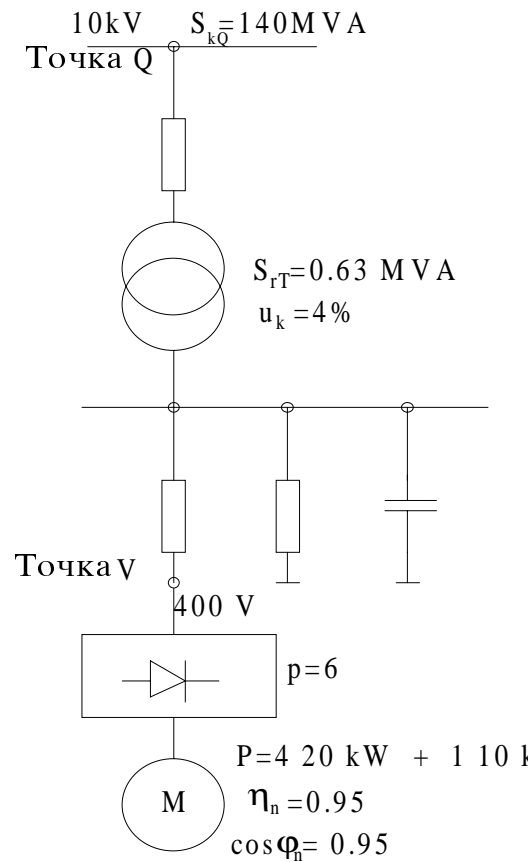
$$\eta_n = 0.95$$

фактор на моќност при номинален погон

$$\cos \varphi_n = 0.95$$

број на пулсеви на исправувачот

$$p = 6$$



Сл. 1 Приклучок на 5 ЕМП со еднонасочни машини напојувани преку струен исправувач

Без точна проверка може да се дозволи мрежен приклучок на уред кој произведува виши хармоници ако е задоволено  $\frac{S_A}{S_{kV}} < 0.001$ . За поточна анализа потребно е да се извршат некои дополнителни пресметки. Моќноста на куса врска се пресметува како:

$$X_{kQ} = \frac{1}{S_{kQ}} = \frac{100\%}{140 MVA} = 0.714 \frac{\%}{MVA}$$

Индуктивна компонента на инпендансата на трансформаторот е дадена со:

$$X_T = \frac{u_k}{S_{rT}} = \frac{4\%}{0.63 MVA} = 6.349 \frac{\%}{MVA}$$

Импедансата на куса врска и моќноста на сврзна точка можат да се пресметаат според:

$$X_{kV} = X_{kQ} + X_T \approx 7.1 \frac{\%}{MVA}; \quad S_{kV} = \frac{1}{X_{kV}} \approx 14 MVA$$

За проценка на допустеноста на приклучок на погонот кој е извор на виши хармоници потребно е да се пресмета и релативниот фактор на виши хармоници по однос на нивото на поносливост како:

$$B_v = \frac{u_v}{u_{vVT}} = \frac{z_{vV} \cdot \sum k_{pv,i} \cdot i_{v,i} \cdot S_{rA,i}}{u_{vVT}}$$

Притоа за 20kW погон може да се напише:

$$S_{rA} = \frac{P}{\eta_n \cdot \cos \phi_n} = 22.2kVA; \quad \frac{S_{rA}}{S_{kV}} = \frac{22.2kVA}{14000kVA} = 0.0016,$$

додека за 10kW погон вреди:

$$S_{rA} = 11.1kVA; \quad \frac{S_{rA}}{S_{kV}} = 0.0008$$

Со помош на овие прелиминарни пресметки во Табела 2 се прикажани основните величини за петиот, седмиот единаесетиот и тринаесетиот хармоник кои се неопходни при оценката односно нивото на застапеност на вишите хармоници при приклучување на дадениот потрошувач.

Во Табела 2 со константата  $v = k \cdot p \pm 1$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) се претставува нивото на поделните хармоници. Фактор на исти фазни агли  $k_{pv} = f\left\{\frac{S_{rA}}{S_{kV}}; v\right\}$  претставува функција од моќноста на потрошувачот, моќноста на куса врска и од редот на хармоникот а ја зема предвид геометриската односно векторската сума на вишите хармоници кои се предизвикани од различни уреди. За диоден исправувач со капацитивен филтер важи:  $k_{pv} = 1$  (Табела 2). Нивото на напонска подносливост  $u_{vVT}$  е дефинирано во согласност со IEC 1000-2-2 препораките и е дадено во Табела 2.

Табела 2

$v$	$k_{pv}$ 20 kW	$k_{pv}$ 10kW	$i_v$	$u_{vVT}$	$z_{vV} \frac{\%}{MVA}$	$B_v$
5	0.3	0.1	27%	6%	35.5	0.04
7	0.2	0.1	11%	5%	49.7	0.02
11	0.1	0.1	9%	3.5%	78.1	0.02
13	0.1	0.1	6%	3%	92.3	0.03

Нормирана струја на виши хармоници обично се пресметува преку односот на струјата на вишиот хармоник и вкупно измерената струја  $i_v = \frac{I_v}{I_{izmer}}$ . Само во идеален случај да струјата е идеално глатка важи односот  $\frac{I_v}{I_1} = \frac{1}{v}$ . Со  $Z_{vV} = v \cdot X_{kv}$  е

дадена нормираната импеданса во сврзната точка V. Во зависност од напонското ниво на приклучното место коефициент на напонско ниво може да ги има следниве вредности:

$$k_{N,NN} = 0.2 \div 0.3;$$

$$k_{N,SN} = 0.4 \div 0.7;$$

$$k_{N,VN} = 0.1 \div 0.3;$$

Во овој случај се работи за низок напон од 400V па за коефициентот за напонско ниво слободно може да се усвои  $k_N = 0.3$ .

Ако се води сметка дека обично на мрежата се приклучени повеќе создавачи на виши хармоници, коефициент на приклучување може да се пресмета преку односот на моќностите меѓу вкупната инсталирана моќност на приклучните електромоторни погони и моќноста на напојниот трансформатор, односно мрежата:

$$k_A = \frac{S_p}{S_{mr}} = \frac{300kVA}{500kVA} = 0.6$$

Во согласност со претходните пресметки и имајќи ги предвид податоците од Табела 1 условот за приклучување претставен преку факторот на влијанието на вишите хармоници, даден со неравенството  $B_{max} < k_A \cdot k_N = 0.18$  е исполнет за сите хармоници

#### 4. ПРИНЦИПИ ЗА АНАЛИЗА И КОНТРОЛА НА ХАРМОНИЦИТЕ

Во основа хармониците представуваат проблем ако изворот на хармонични струи е премногу голем, патот по кој течат струјните хармоници е предолг што резултира или во висока напонска дисторзија или телефонска интерференција и фреквентниот одзив на системот се совпаѓа со фреквенцијата на еден или повеќе виши хармоници на струјата што резултира во опасни услови на сериска или паралелна резонанција на системот. Во случај да настане еден од трите горенаведени проблеми потребно е да се превземат следните чекори:

- редуцирање на струјата на вишите хармоници создадена од товарот,
- приклучување на филтри (активни или пасивни),
- промена на фреквентниот одзив на системот со вградување филтерски индуктивитети или капацитети.

За комплетна анализа на повратните влијанија на хармониците потребно е да се изработи соодветна студија [4], која во принцип треба да ги содржи следниве целини:

- Определување на целите и задачите на студијата
- прибирање на сите валидни информации и податоци за мрежата и изворот на вишите хармоници,
- извршување на аналитичка проценка и компјутерска симулација,
- испитување, снимање и мерење на постојната ситуација во поглед на вишите хармоници и квалитетот на напонот
- споредба на симулацијата со извршените мерења
- студирање на новата ситуација или постојниот проблем
- предлагање на решение (пасивни или активни филтри) и истражување на можноста за појава на резонантна фреквенција (елиминирање на истата)

- после инсталирање на предложените решенија спроведување повторен мониторинг односно мерења на актуелната состојба.

Секогаш е можно при анализа на повратните влијанија на хармониците да се прескочи некој од овие чекори. Во најголем број случаи се практикува да се намали бројот на мерењата поради релативниот долг временски период (најмалку една недела), цената на чинење на инженерското време, патување и дополнителни мерни трошоци.. Добро испраксиран професионалец во оваа област можеби би можел да спроведе една ваква анализа и студија без практични мерења но строго се препорачува [4] неопходноста од иницијалните или почетните мерења со цел да се сними актуелната состојба пред да почне да се врши ваква студија за анализа на повратните влијанија на вишите хармоници.

Во случај на едноставни примери можно е да се спроведе анализата за оценка на повратните влијанија од вишите хармоници опишана во претходниот пример. За покомплицирани мрежи и случаи на извори на виши хармоници неопходна е примена на специјално разработени CAD алатки или кориснички ориентиран софтвер за таа намена.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Во трудот е прикажано и анализирано влијанието на вишите хармоници врз квалитетот на електричниот напон. Претставен е еден практичен пример на оценка на нивото на подносливост користејќи го аналитичкиот израз за коефициентот на влијание на вишите хармоници. Дадени се основните принципи за контрола на повратните влијанија на вишите хармоници како и некои базични против мерки за нивно намалување. Од горе наведеното се гледа дека приклучување на еден нелинеарен потрошувач не смее да се приклучи без да се направи анализа како погоре опишаната, со цел да се види дали истиот не би ја нарушил електромагнетната компатибилност во енергетската мрежа. Ваквите анализи се вообичаени во технички поразвиените земји. Сметаме дека е крајно време и кај нас да се практикува ваква анализа како составен дел на т.н. "Енергетска согласност".

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vladimir Katic: Network harmonic pollution - a review and discussion of international and national standards and recommendations, IEEE conference CIEP, Puebla, Mexico, August 21-25 1994, pp 145-151.
- [2] J. Schlabbach, D. Blume, L. Nikoloski, G. Rafajlovski: Voltage Quality, Proceedings of the second tutorial, Faculty of Electrical Engineering, Skopje 1997
- [3] Derek A. Paice: Power Electronic Converter Harmonics, (Multipulse methods for clean power), IEEE Press, ISBN 0-7803 1137-X, New York, NY 10017-2394
- [4] Roger C. Dugan, Mark F. Granagham, H Wayne Beaty: Electrical Power System Quality, McGraw-Hill 1996
- [5] Martin Garcke: Correction in Supply Systems with Harmonic Content, Energy and Automation, Product News, Standard Products Vol.VIII No. 2/88
- [6] Joachim Pestka, Ralf Gretsche, Grundsätze für die Beurteilung von Netzruckwirkungen, VDEW -e.V., 3. überarbeitete Ausgabe, m.b.H - VDEW, Mai 1992