

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ – СИГРЕ, СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО–СИГРЕ

СЕКЦИЈА II: ВОДОВИ И ПОСТРОЈКИ

ГРУПА 22: НАДЗЕМНИ ВОДОВИ

СТРУЧЕН ИЗВЕСТУВАЧ: м-р Ангел Николов, Ј.П. "Електростопанство на Македонија", Подружница "Електродистрибуција - Скопје" – Скопје.

ИЗВЕШТАЈ НА СТРУЧНИОТ ИЗВЕСТУВАЧ

За второто советување на МАКО СИГРЕ од проблематиката што се обработува во групата 22 се напишани вкупно 14 труда, од кои сите се класифицирани како реферати. Може да се констатира дека прифатените трудови обработуваат проблематики коишто се во склад со преференцијалните теми на СТК22, предвидени за ова советување.

P22.01 д-р Ристо Ачковски, Никола Николиќ, "ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ПРОПУСНАТА МОЌ И РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА ДАЛЕКУВОДОТ 110 KV ТЕ ОСЛОМЕЈ – ХЕ ВРУТОК"

Далекуводот 110 kV бр. 106/1 помеѓу ТЕ "Осломеј" – ХЕ "Вруток" е во погон полни 40 години и како таков е пред крајот на својот животен век. Покрај староста и високиот степен на дотраеност, посебен проблем со него е и малата пропусна моќ, која со оглед на фактот дека е изведен со спроводници $Al/^{150/25} mm^2$, изнесува негде околу 80 MVA. Но неговата важност во системот на Македонија е и натаму актуелна па е согледана потребата за негова ревитализација и зголемување на неговата пропусна моќ. За таа цел е изработен економско–технички елаборат [1] за негова ревитализација и зголемување на пропусната моќ и во него е разработен поголем број варијанти за неговото појачување и ревитализација. Повеќето од согледаните варијанти се опишани во овој труд. Изложена е и методологијата за техничко–економско вреднување на разгледуваните варијанти, според која, во економските споредби се калкулира со актуализираните (т.е. дисконтираните) вкупни средства, потребни за реконструкција / ревитализација, но и со идните трошоци за неговото одржување како и со трошоците за изгубената електрична енергија во преносот. На крајот од трудот е направен и приказ на резултатите од економското споредување добиени во споменатиот елаборат.

P22.02 Костадин Стамболиев, Фида Николова, "ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ DV"

Во трудот се прикажани евидентните предности на програмскиот пакет "DV", наменет за проектирање на надземни водови со помош на поерсонален компјутер во однос на рачното проектирање на водови со среден напон. Тоа е и покажано на конкретен пример, т.е. поточно на примерот од 20 kV надземен вод "Сушица – Пропуст". Корисникот, т.е. проектантот, со пакетот "DV" е ослободен од грижата да не погреша, има чувство на сигурност, отпаѓа потребата од исцртување на должниот профил на трасата од водот, а времето на проектирање се сведува на минимум.

P22.03 д-р Ристо Ачковски, "ИТЕРАТИВНА ПОСТАПКА ЗА РЕШАВАЊЕ НА РАВЕНКАТА НА СОСТОЈБАТА"

Во рамките на главниот проект на еден надземен вод е неопходно за секој негов распон да се прикаже "монтажната табела", т.е. табеларната зависност на механичкото напрегање на спроводниците/јажињата од нивната температура. Таа зависност математички е опишана со т.н. "равенка на состојбата" која претставува една алгебарска равенка од трет степен. За нејзиното решавање во денешно време најчесто се користат компјутери при што е вообичаено за таа цел да се применува некоја нумеричка постапка.

Во трудот е најнапред опишан табеларен метод за решавање на равенката на состојбата. Тој се применува тогаш кога на проектантот не му стои на располагање компјутер или рачен калкулатор. Потоа е прикажана нова, итеративна постапка наменета за решавање на равенката на состојбата со помош на компјутер. Изложен е и ефикасен начин за определување на добро почетно решение на равенката. Предложената итеративна постапка е едноставна, брза и сигурна бидејќи со мал број итерации го дава бараното решение со висока, однапред зададена точност.

P22.04 Цветан Пасков, "ГРАВИТАЦИОНИ РАСПОНИ И ДОЛЖИНА НА ЛАНЧАНИЦА ВО РАСПОН"

Во трудот се разработени и прикажани постапката и алогоритмот за брзо и точно пресметување на гравитационите распони како и алгоритмот за пресметување на вистинската должина на јажињата. Прикажаниот алгоритам е прилагоден за пресметување со математички ориентиран софтвер кој обезбедува точност што ги задоволува потребите во проектирањето на надземни водови со напон до 400 kV.

P22.05 Пецо Трифунов, "400 KV ДАЛНОВОД БИТОЛА 2–СКОПЈЕ 4 – ПРОБЛЕМАТИКА И ИСКУСТВА ВО ИЗВЕДУВАЊЕ НА ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИ РАБОТИ"

Во трудот се изнесени проблематиката и искуствата стекнати во изведувањето на електромотажните работи (ЕМП) на далекуводот 400 kV "Битола 2 – Скопје 4". За таа цел е формирана организациона структура како организационен и управувачки систем. Резултат од воведувањето на т.н. организациона структура е

скратувањето на времетраењето на изведувачките ЕМП, а од тука и рокот за завршување на целиот изведувачки проект.

P22.06 д-р Ристо Ачковски, "ГРАНИЧНИ РАСПОНИ НА ТИПСКИТЕ ЈАЖИЊА И НИВНО ПРЕСМЕТУВАЊЕ".

Едно од техничките ограничувања кое безусловно мора да биде исполнето кај надземните електроенергетски водови се однесува на напрегањето во спроводниците и јажињата во точките на обесување (зацврстување) при температура -5°C кога на спроводниците и јажињата е нафатен т.н. "исклучителен зимски додатен товар". Контролата на ова напрегање во практиката се врши со помош на т.н. "граничен распон". Досегашниот начин за приближно определување на граничниот распон на спроводниците и јажињата кај надземните водови се темели врз идејата за "параболизација" на равенката на состојбата и во низа случаи тој дава резултати со неприфатливо голема грешка што може да доведе до сосема погрешни заклучоци во врска со вредноста на споменатото напрегање.

Во трудот е прикажана нова, итеративна, постапка која овозможува да пресмета точната вредност на граничниот распон на спроводниците односно јажињата кај надземните водови. Постапката е особено погодна за примена на дигитални компјутери и дава резултат после само неколку итерации, без оглед на карактеристиките на разгледуваните спроводници / јажиња и без оглед на пресметковните климатски услови што владеат на теренот. Прикажани се и резултатите од пресметаните вредности на граничните распони за некои стандардни типови јажиња.

P22.07 д-р Ристо Ачковски, "ИЗБОР И ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ НА ЗАЗЕМЈУВАЧИТЕ НА СТОЛБОВИТЕ КАЈ НАДЗЕМНИТЕ ВОДОВИ"

Во трудот е најнапред дефинирана основната задача што ја имаат општо сите заземјувачи на електроенергетските објекти, а во таа смисла и заземјувачите на столбовите од надземните водови. Опишани се и основните карактеристики на заземјувачите – отпорноста на распростирање и напоните на допир и чекор. Потоа е направен кус осврт кон нашите прописи и регулативата сврзана со проблемот на заземјување на надземните водови во мрежите со различен третман на неутралната точка. Направен е и осврт кон методите за пресметување на заземјувачите. Прикажани се начелата според кои треба да се раководи проектантот при изборот на конфигурацијата, типот и димензиите на заземјувачите, а потоа е изложена и постапка за избор на типот и димензиите на заземјувачите кај надземните водови.

**P22.08 Костадин Лукарски, Илија Хаџидаов, Зоран Огненоски,
"ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕДУВАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ
НА ДАЛНОВОДОТ 400 kV БИТОЛА 2 – СКОПЈЕ 4".**

Во трудот е опишан мерниот метод "напон – струја" со кој се измерени, а потоа и пресметани параметрите од редната гранка (активните отпорности, реактансите и импедансите) на системите со директен и нулти редослед како и на системот "фаза – земја" на новоизградениот 400 kV вод "Битола 2 – Скопје 4". Прикажана е и постапката за мерење и пресметување на доземните и погонските капацитети на водот. Резултатите од мерењата и пресметките се средени и се

прикажани табеларно, како за единечна должина, така и за вкупната должина на овој вод.

P22.09 д-р Ристо Ачковски, м-р Мирко Тодоровски, "ЗАГУБИ НА МОКНОСТ И ЕНЕРГИЈА ВО ЗАШТИТНИТЕ ЈАЖИЊА НА ВОДОВИТЕ 400 kV ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА "

Надземните водови со висок и највисок напон ($U_n \geq 110 \text{ kV}$) се штитат од директни атмосферски празнења со едно или пак со две заштитни јажиња, поставени на врвот од столбот. Тие имаат несиметрична положба во однос на фазните спроводници, поради што во нив се индуцираат струи под дејство на индуцираните е.м. сили, создадени од работните струи во фазните спроводници. Тие индуцирани струи ќе претставуваат извор на загуби на активна моќност и енергија.

Во трудот е најнапред анализирана големината на тие загуби како и мерките за нивното смалување. Прикажани се некои од можните начини на заземјување на заштитните јажиња како и ефектите што се постигнуваат со нивната примена во смисла на смалување на загубите во заштитните јажиња. На крајот е извршена пресметка на загубите на моќност и енергија во 400 kV водови на Република Македонија. Се констатира дека изборот на најсоодветниот начин на заземјување на заштитните јажиња треба да биде базиран на претходно направена техничко-економска анализа во која, покрај цената на дополнителните инвестиции сврзани со изведбата на заземјувачкиот систем, ќе биде земена предвид и цената на загубите на моќност и енергија во самите заштитни јажиња.

P22.10 д-р Елизабета Бахтовска, д-р Елизабета Христовска, "НАМАЛУВАЊЕ НА ЕФИКАСНОСТА НА ПРИГУШУВАЊЕ НА ПРОСТОРНИОТ ДАМПЕР ЗА СНОП ОД ДВЕ ПРОВОДНИ ЈАЖИЊА КАКО ПОСЛЕДИЦА ОД АТМОСФЕРСКИТЕ ВЛИЈАНИЈА.

Во трудот е прикажано влијанието на атмосферските услови врз ефикасноста на придушување на дамперот, вклучувајќи ги високите и ниските температури, зголемената концентрација на озон, ултравиолетовите зраци, снег и мраз. За таа цел, во ИЗИС – Скопје експериментално се определени основните динамички карактеристики на дампер кој бил во експлоатација повеќе години (сопствени фреквенции, трансферзална крутост и коефициент на придушување) и истите се споредувани со динамичките карактеристики на нов дампер кој не е употребуван.

P22.11 д-р Елизабета Бахтовска, д-р Мирка Радевска – Попниколова, "ДИНАМИЧКА РАСПРЕДЕЛБА НА ДИЛАТАЦИИТЕ КАЈ НАДЗЕМНИ ВОДОВИ ШТО СЕ ВОДАТ ВО СНОП"

Во трудот е прикажана врска што постои помеѓу дилатациите при динамичкото оптоварување на надземните водови и тие што се јавуваат кај вклетени и затегнати греди со кружен напречен пресек – изложени на вибрации. Користен е методот на трансфер-матрици за определување на максималните дилатации во точките на обесување на проводните јажиња и точките на поставување на дамперот долж снопот. Прикажани се, исто така, и резултатите од експерименталните истражувања на дилатациите на сноп од две проводни јажиња,

опремен со просторен дамер. Експерименталните испитувања се извршени во лабораторијата за динамички испитувања при ИЗИС – Скопје.

P22.12 Сашо Стефановски, Елена Алексова, "ВОВЕДУВАЊЕ НА СТАПНИ ИЗОЛАТОРИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИЈАТА НА 110 KV ДАЛЕКУВОД БРОЈ 110/2 СКОПЈЕ 1 – СКОПЈЕ 4"

Во трудот се разработени изборот и примената на масивниот стапен порцелански изолатор, заедно со овесната и заштитна опрема на 110 kV далекувод "Скопје 1 – Скопје 4" бр. 110/2. Познато е дека стапниот изолатор е во примена над 50 години при што се користеле најразлични технологии за изработка и обработка на порцеланот. Во случајов, станува збор за масивен стапен порцелански изолатор, изработен од висококвалитетен алуминиум-оксид порцелан, со ознака LG 65/22 1270, производ на "CERAM" - Австрија. За овој изолатор ЕМО – Охрид димензионира и обликува овесна и заштитна арматура. Со право се очекува дека со примена на стапниот изолатор ќе се зголеми погонската доверливост на водот и ќе се намалат трошоците во одржувањето.

P22.13 Александар Рибароски, Михајло Атанасоски, Никола Доневски, Никола Николиќ, Васко Штерјовски, "ПУЛТРУДИРАНИ ПРОФИЛИ И НИВНА ПРИМЕНА ВО ВИСОКОНАПОНСКАТА ОПРЕМА КАКО НОСАЧИ НА ПОТПОРНИ ИЗОЛАТОРИ ПНПИ-Т ЗА НАПОНСКО НИВО ОД 10 ДО 35 KV"

Во трудот е претставен новиот носач на потпорни изолатори за напонско ниво од 10 до 35 kV. Тоа е носач изработен од синтетски материјал кој може да го замени досегашниот носач, изработен од метал. Тој е механички испитуван на сите видови напрегања, предвидени со нашите стандарди. Од споредбените табеларни податоци податоци се гледа дека новиот носач, со ознака PNPI-T во споредба со постојниот, со ознака NPV, има исклучителни добри електрични, механички и хемиски карактеристики.

P22.14 д-р Ристо Ачковски, "ПРИМЕНА НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ 'DV' ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА НАДЗЕМНИ ВОДОВИ"

Со појавата на персоналните компјутери на секој инженер-проектант му се овозможи да се служи со разни софтверски алатки и апликативни програми при решавањето и техничкото формување на задачите од доменот на неговото работење. Програмскиот пакет "DV", наменет за проектирање на надземни водови со помош на персонални компјутери, претставува една таква апликација.

Во трудот е најнапред даден кус опис на овој програмски пакет. Наброени се подлогите, неопходни за ваквиот вид проектирање а потоа е опишан и принципот на кој работи програмот при изборот на типовите и висините на столбовите како и при нивното интерактивно разместување долж трасата. Опишан е и начинот на кој овој програмски пакет врши проверка на исправноста на добиеното техничко решение. На крајот се наброени листите и табелите на излезните резултати, кои претставуваат продукт од работењето со овој програмски пакет.

ПРАШАЊА ЗА ДИСКУСИЈА

- 1 Постојат ли европски искуства со примената на алучел-јажиња со зголемена термичка струја од типот TACSR, односно STACIR, опишани во рефератот P22.01. Колку можеме да сметаме на нивната примена во изградбата и ревитализацијата на надземната мрежа во нашата земја од аспект на стабилна цена и можност за нивната брза и сигурна нарачка.
- 2 Дали низ досегашната практична примена на програмскиот пакет "DV" се чувствува потребата од негова доградба односно проширување, од аспект тој во некои фази од проектирањето да може да врши оптимизација.
- 3 При проектирањето на 400 kV водови многу е честа појавата на тотални распони поголеми од 500 m. Вакви случаи се среќаваат дури и кај водовите 110 и 220 kV. Колкави се грешките во пресметувањето на провесите преку "приближната" релација (2) за тие случаи.
- 4 Дали има потреба од воведување на три нивоа на вредности, на пример на мали, средни и големи гравитациони распони, во смисла на изложеното во рефератот P22.04.
- 5 Како да се востанови пракса која ќе обезбедува неизоставно примена на современи практикувани организационо-управувачки системи за изведување и градба на водови со висок и највисок напон.
- 6 Колкави се грешките при пресметувањето на граничните распони на класичен начин, решавајќи го системот равенки (11) и (13), во однос на нивната точна вредност, добиена со итеративната постапка прикажана во рефератот P22.06.
- 7 Каква е нашата досегашна пракса во врска со изборот и димензионирањето на заземјувачите на надземните водови и кои се проблемите на кои притоа најчесто се наидува. Дали пристапот опишан во рефератот P22-07 заедно со техничката препорака ТП. 9 на ЕПС може да се прифати како пракса за избор и димензионирање на заземјувачите на идните далекуводи.
- 8 Какви се вредностите на параметрите на водот 400 kV "Битола 2 – Скопје 4" добиени по аналитички пат (компјутеризирани методи). Ако вредностите кај некои параметри значително се разликуваат од оние, определените експериментално, како да се постапи и кои од нив да се користат.
- 9 Колкави ќе бидат загуби на моќност и енергија во заштитните јажиња на 400 kV далекуводи во Република Македонија при транзити на моќност на правецот Север – Југ од ± 300 MW до ± 500 MW кои се можни и веројатни во наредниот период. Дали и каде се применуваат системите на заземјување на заштитните јажиња опишани во рефератот P22.09.
- 10 Како последица на атмосферските влијанија е стареењето на гумата кај дамперот заради што се и намалува способноста на дамперот тој да ги придушува вибрациите на јажињата. Како овој проблем е разрешен кај новите типови дамperi.
- 11 Какви се дилатациите во точките на обесување на јажињата при вертикално побудување на хоризонтален сноп од проводни јажиња, зависно од силата со која се тие затегнати.

- 12 Зошто паралелно во припремите за примена на стапестиот изолатор, опишан во рефератот P22.12, не е разгледувана можноста за примена на стапен изолатор од композитен материјал, а кој е во употреба последниве години.
- 13 Заради исклучително добрите изолациони карактеристики на новиот носач тип PNPI-T, опишан во рефератот P22.13, треба да се извиди можноста да се развие модел на носач од синтетски материјал кај кој ќе изостане потребата од поставување на потпорен изолатор.
- 14 Постои ли можност да се воведат автоматизирано разместување на столбовите долж трасата со програмскиот пакет "DV".

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ, СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО-СИГРЕ

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж, Електротехнички факултет – Скопје
Никола Николиќ, дипл. ел. инж. ТИМЕКС–Д.О.О – Охрид, Деловна единица Скопје

ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ПРОПУСНАТА МОЌ И РЕВИТАЛИЗАЦИЈА НА 110 KV ДАЛЕКУВОД ТЕ "ОСЛОМЕЈ" - ХЕ "ВРУТОК"

КРАТКА СОДРЖИНА

Далекуводот 110 kV бр. 106/1 помеѓу ТЕ "Осломеј" – ХЕ "Вруток" е во погон полни 40 години и како таков е пред крајот на својот животен век. Но неговата важност во системот на Македонија е и натаму актуелна. Во трудов е направен приказ на резултатите од економско–техничкиот елаборат [1] за негова ревитализација и зголемување на пропусната моќ. Во споменатиот Елаборат се разработени повеќе варијанти за неговата ревитализација и повеќето се опишани во овој труд.

SUMMARY

The 110 kV power transmission line N° 106/1 connecting power plants TE "Oslomej" and HE "Vrutok" is operating already 40 years and is at the end of his life. But his importance in the power system of Macedonia as a transmission line is still high. Because of this reason it was decided to revitalise it and to expand its transmission capacity. During the year 1997 a study for revitalisation and expanding the ampacity of this line was done. A review of the results of this study is presented in this paper.

Клучни зборови: Надземни водови, ревитализација, пропусна моќ.

1. ВОВЕД

Далекуводот 110 kV ХЕ "Вруток" – ТЕ "Осломеј" (вод бр.106/1) е во погон веќе 40 години и е еден од најстарите 110 kV далекуводи коишто во Република Македонија се наоѓаат сè уште во погон. Во времето кога е тој е изграден, намената во основа му била поврзување на кичевскиот и битолскиот регион со, во тоа време, главниот извор на електрична енергија – хидроелектраната "Вруток". Неговата природна моќност изнесува околу 30 MW, а термичката пропусна моќност околу 70 MVA и во тоа време претставувал електроенергетски објект со солиден преносен капацитет. Но со појавата на ТЕ "Осломеј" во 1974 година, која произведува значителен дел од електричната енергија во Македонија и чија моќност на прагот

изнесува над 100 MW, значењето на овој се менува и тој прераснува од вод кој имал донекаде локално значење во дел од високонапонската преносна мрежа кој има системско значење и преку кој поголем дел од производството на ТЕ "Осломеј" се пласира во електроенергетскиот систем (ЕЕС) на Македонија .

Поради неговата старост но и поради важноста на овој вод како во сегашноста, така и во наредниот период од најмалку дваесетина години, согледана е потребата од негова ревитализација и проширување на неговите преносни капацитети, па во текот на 1997 година на барање на Ј.П. "Електростопанство на Македонија", подружница "Електропренос" – Скопје од страна на фирмата "TIMEX" Д.О.О–Охрид, деловна единица Скопје, е изработен економско–технички елаборат [1] за негова ревитализација и зголемување на пропусната моќ. На овој Елаборат му претходеше работата на неколку комисији кои имаа задача да ја утврдат фактичката состојба со степенот на дотраеност на овој вод и да ја испитаат можноста за измена на некои делови од трасата заради скратување на неговата должина и решавање на некои други проблеми. Во Елаборатот се разработени повеќе варијанти за неговата ревитализација и е извршено споредување на нивните технички и економски карактеристики. Поважните од разгледуваните варијанти како и начинот на нивното техничко и економско валоризирање се опишани во овој труд.

2. ОСНОВНИ ПОДАТОЦИ ЗА ПОСТОЈНИОТ ДАЛЕКУВОД

Постојниот далекувод 110 kV ХЕ "Вруток" – ТЕ "Осломеј" (вод бр.106/1) е изграден во 1958 година, изведен на челично-решеткасти столбови за номинален напон 110 kV од типот "Елка" – производ на "Енергоинвест" – Сараево. Столбовите се челично-решеткасти, со три конзоли, предвидени и изведени со спроводници од типот Al/\wedge -јаже JUS N.C1.351, а на врвот е прицврстено заштитното јаже од типот Fe III 35 mm² според JUS. N.C1.702. Појасниците на столбовите се во форма на L-профили, а вкрстените диагонали се од округол челик и се преднапрегнати и тие се заштитени од корозија со мрсна боја. Како изолација се употребени класични изолаторски вериги со капести порцеланови изолатори од типот K170/280 (K3). Водот е долг $l = 25,536$ km и има вкупно 90 столбови, од кои 79 се носечки, а останатите се аголно-затезни. Како аголно-затезни столбови се употребени столбовите со следниве ознаки:

"KZ 160–180", за агол на скршнување до 20°;

"KZ 140–160", за агол на скршнување до 40°;

"KZ 120–140", за агол на скршнување до 60° и како краен столб.

Употребените носечки столбови се од типот "N305" и "N360".

Останатите податоци за овој вод се следните:

– притисок на ветрот: $P_V = 60$ kp/m² (за надморски висини до 800 m) и
 $P_V = 72$ kp/m² (за надморски висини над 800 m);

– нормален зимски додатен товар (НЗДТ) $1,0 \cdot 0,18\sqrt{d}$ kp/m;

– Максимално работно напрегање на спроводниците: $\sigma_{mv} = 8$ kp/mm²
(или 7,85 daN/mm²);

– Максимално работно напрегање на спроводниците: $\sigma_{mz} = 24$ kp/mm²
(или 23,5 daN/mm²).

3. РАЗГЛЕДУВАНИ ВАРИЈАНТИ

При изработката на Елаборатот [1] согледан е и е анализиран поголем број можни варијанти за реализација на поставената цел. Заедничко за сите нив е тоа што поради дотраеноста на постојните јажиња со кои се изведени спроводниците и заштитното јаже е неопходно тие да бидат заменети со нови, при што за спроводници ќе се применат алучел-јажиња со поголема трајна дозволена струја. Исто така, поради дотраеноста на постојните изолаторски вериги, тие треба да бидат заменети со порцелански стапести изолатори кои имаат подобри изолациони карактеристики. Наедно, при реконструкцијата на водот ќе треба сите столбови, за кои ќе се утврди дека не ги задоволуваат во механичка или електричка смисла новите одредби од Правилникот за градба на надземни електроенергетски водови [2] а кој стапи на снага во 1988 година и се разликува од претходниот, да бидат заменети со соодветни. Овде ќе бидат прикажани само четири од разгледуваните варијанти – оние за кои сметаме дека се по нешто специфични. Во натамошниот дел од текстот ќе ги опишеме основните карактеристики на секоја од нив.

Прва варијанта. Кај првата варијанта се предвидува единствено промена на постојниот спроводник тип $Al/\wedge 150/25 \text{ mm}^2$ (односно $Al/\wedge 150/30 \text{ mm}^2$) кој е практично дотраен, со нов спроводник од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ на постојните столбови и по постојна траса, од столбното место бр. 4, во близината на ТЕ "Осломеј" до столбното место бр. 90, во близината на ХЕ "Вруток" – без никакви измени во трасата. Бидејќи постојните столбови не се предвидени за овој тип јажиња, кај оваа варијанта ќе биде неопходно да се вметнат 53 нови столбови со кои ќе се изврши механичко појачување на водот.

Втора варијанта. Според оваа варијанта, делот од водот помеѓу столбовите бр. 4 и 8, со должина 1,429 km, како и делот помеѓу столбовите бр. 82 и 90, со должина 2,665 km, се реконструира по постојната траса со истите столбови и притоа постојните спроводници се заменуваат со ново проводно јаже од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$. Покрај ова, од столбот бр. 8 до столбот бр. 82, по сосема нова траса, ќе се изгради нова делница, со должина 18 km и со спроводно јаже $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$. Натаму, од столбното место бр. 82, па сè до столбот бр. 90, водот се вклопува во старата траса.

Трета варијанта. Оваа варијанта е идентична со првата варијанта, со единствената разлика што тука, место со спроводниците од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$, промената на постојните спроводници по постојната траса ќе се изврши со сосема нов тип алучел-јажиња од типот "TACSR" (Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductors), со номинален пресек $160/40 \text{ mm}^2$ а за кои подетално ќе стане збор во точката 6. Овие јажиња во механички поглед имаат карактеристики многу слични на постојните, така што силите што ќе се јават кај столбовите после промената скоро воопшто нема да се разликуваат во однос на досегашните. Но и покрај ова, од чисто "електрични" причини, пак ќе биде потребно да се вградат 19 нови столбови со кои ќе се изврши усогласување на старото техничко решение со новите прописи.

Четврта варијанта. Кај оваа варијанта се предвидува промена на постојниот спроводник на потегот помеѓу столбовите бр. 51 и 90, долг 11,885 km, со нов спроводник од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$. Понатаму, од столбот бр. 51 па сè до крајот на водот, кој завршува во новата ТС 110/10 "Полог", во близината на градот Гостивар, се предвидува изградба на сосема нова делница, по нова траса, со должина

21,055 km. Новата делница ќе се изведе со спроводници од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$. На тој начин вкупната должина на водот ќе се скрати за околу 12 km во однос на неговата постојна должина.

4. ТЕХНИЧКИ И ЕКОНОМСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РАЗГЛЕДУВАНИТЕ ВАРИЈАНТИ

4.1. Примена на спроводници од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$

Со замена на постојните спроводници од типот $Al/\wedge 150/25 \text{ mm}^2$ и со поставување на новите, од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$, кои имаат поголем пресек и поголема специфична тежина, работното напрегање на спроводниците ќе мора да се намали доколку сакаме силите на затегање со кои тие дејствуваат врз столбот да останат исти. Покрај ова, со поставувањето на новите спроводници на постојните столбови доаѓа и до значително зголемување на вертикалните сили кај столбовите и со тоа драстично се намалуваат нивните дозволени гравитациони распони, што претставува дополнителна причина за вметнување на нови столбови во постојните распони но и причина за замена на некои постојни столбови со нови. Големи гравитациони распони на постојниот вод се јавуваат и затоа што водот се протега по стрм планински терен поради што честопати доаѓа до појава на поголеми гравитациони распони.

Во рамничарскиот дел од водот повторно се јавува потребата од вметнување нови столбови во распон. Причина за ова е сигурносната висина на спроводниците над тлото и објектите на тлото. Имено, бидејќи новите спроводници $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ ќе работат со смалено максимално работно напрегање ($\sigma_{mv} = 6,0 \text{ daN/mm}^2$ наместо 8 daN/mm^2), тие ќе имаат зголемен провес. На тој начин се добива дека, на пример, при максималната температура $\vartheta = 40^\circ\text{C}$ и за распон $a = 300 \text{ m}$, провесот $f_{150/25} = 11,2 \text{ m}$ додека кај јажето $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ тој ќе биде $f_{240/40} = 12,7 \text{ m}$, што е за 1,5 m повеќе од претходниот.

Од тие причини кај варијантата број 1, на пример, кај која е предвидена употребата на јажето $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$, се јавува потребата од воведување нови 53 столбови од кои 27 се вметнуваат поради механички причини, додека 26 поради зголемените провеси, односно поради чисто "електрички" причини. На тоја начин во делот од трасата помеѓу столбовите бр. 4 и 90, кој содржи вкупно 87 столбови, се јавува потреба од вградување на дополнителни 53 нови столбови (плус демонтажа на 27 столбови од постојните), што изнесува 60% од постојниот број на столбови.

4.2. Примена на спроводниците од типот **TACSR 160/40 mm²**

Доколку промената на постојните спроводници $Al/\wedge 150/25 \text{ mm}^2$ се изврши со јажето **TACSR 160/40 mm²**, гореспоменатите проблеми во најголема мера исчезнуваат или пак се јавуваат, но во многу помала мера. А еве зошто.

Од табелата II се гледа дека пречникот на ова јаже изнесува $d' = 18,2 \text{ mm}$ а неговата специфична маса по единична должина $M = 0,733 \text{ daN/m}$. Истите овие величини кај јажето $Al/\wedge 150/25 \text{ mm}^2$ изнесуваат $d = 17,1 \text{ mm}$ и $M' = 0,605 \text{ daN/m}$ – респективно и тие се незначително помали од претходните. Ова значи дека хоризонталните и вертикалните сили што ќе се јават кај столбовите после оваа замена ќе останат

практично исти, поради што нема да постојат "механички" причини за замена на постојните столбови и воведување нови.

Проблемите со сигурносните висини што се јавуваа кај варијантите коишто предвидуваат примена на спроводници од типот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$, овде воопшто не постојат. Тоа е затоа што со провесите кај ова јаже, дури и при значително повисоки работни температури од вообичаените, се помали од оние што се јавуваат кај класичните алучел-јажиња.

Така, на пример, со пресметки може да се покаже дека за распон $a = 300 \text{ m}$, јагето тип TACSR 160/60 mm^2 , затегнато со максимално работно напрегање $\sigma_{mv} = 8,8 \text{ daN/mm}^2$, дури и на температура $\vartheta = 150^\circ\text{C}$, колку што таа би изнесувала кога во летни услови низ него ќе тече струја од 640 A (а тоа е трајно дозволената струја за јагето $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ во летни услови), ќе има провес $f_{160/40} = 12,48 \text{ m}$. Во исто време, температурата на јагето $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ при истата таа струја, во летни услови, ќе изнесува $\vartheta = 80^\circ\text{C}$, додека неговиот провес ќе изнесува $f_{240/40} = 13,7 \text{ m}$, што е за 1,22 m повеќе во однос на провесот кај јагето тип TACSR 160/60 mm^2 . Значи, спроводникот тип TACSR 160/40 mm^2 ќе може да се оптовари со максималната струја што може да ја носи проводникот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ и притоа неговиот провес ќе биде помал од провесот на проводникот $Al/\wedge 240/40 \text{ mm}^2$ за 1,2 m, а тоа всушност значи дека после примената на јагето TACSR 160/40 mm^2 ќе нема воопшто проблеми со сигурносните висини, доколку и досега немало такви проблеми.

И покрај сето ова, кај втората варијанта, кај која се предвидува примена на јагето TACSR 160/40 mm^2 во постојната траса на 110 kV вод, се јави потреба од вметнување на вкупно 14 нови столбови но и потреба од замена на 5 постојни столбови. До вметнување на новите столбови и замена на постојните дојде од причина што кај постојните столбови коишто се пресметувани по новите прописи но и со новите спроводници, дозволените распони се нешто помали од оние кои важеле за спроводниците тип $Al/\wedge 150/25 \text{ mm}^2$ во времето кога е граден овој вод. Бидејќи конфигурацијата на теренот негде дозволува вметнување на нов столб, но негде тоа не е возможно, на некои локации се јавува потреба и од замена на постојниот столб.

На тој начин од вкупно 87 постојни столбови (од столб бр. 4 до столб бр. 90) кај варијантата 3 е потребно да се вградат 19 нови столбови, што изнесува 22% од вкупниот број на столбови.

Имајќи го предвид сè она што беше досега изложено, за секоја од разгледуваните варијанти се направи главен проект заедно со спецификацијата на потребните материјали и работни зафати, предмер и предсметка. Покрај цената за набавка и монтажа на новите изолатори, јажиња и столбови, во тие пресметки се внесоа и цените на многу други зафати, сврзани со организацијата и изведбата на овој зафат. На тој начин се дојде со табелата I во која се прикажани средствата, потребни за реализација на секоја разгледувана варијанта посебно.

5. МЕТОДОЛОГИЈА И МОДЕЛ ЗА ЕКОНОМСКО СПОРЕДУВАЊЕ НА ВАРИЈАНТИТЕ

За да се изврши правилна економска оценка на разгледуваните варијанти не е доволно да се разгледуваат само инвестициите, потребни за предвидените зафати, туку со анализите ќе треба да се опфатат и идните трошоци во работењето, а тоа се погонските трошоци (тековно и инвестиционо одржување на далекуводот) и вредноста на изгубената електрична енергија во преносот. Може да се смета дека погонските трошоци се практично константни, независни од времето и тие се пропор-

ционални на вредноста на објектот, односно далекуводот. Во оценката на овие трошоци се оперирало со стапка на одржување на далекуводите $\alpha_p = 2,5\%$ годишно.

Табела I. Опис на разгледуваните варијанти и нивни карактеристики

Варијанта број	Цена (DEM) за изведба	Должина l (km)	Кус опис на основните зафати кај варијантата
1	2.955.080	44,59	Реконструкција и замена на постојните спроводници AI/ [^] 150/25 со ново јаже AI/ [^] 240/40 по постојната траса помеѓу столбовите бр.4 и бр.90.
2	3.143.535	41,10	Реконструкција и поставување ново јаже AI/ [^] 240/40 на потегот ст.бр.4 - ст.бр.8 (1,429 km) и на потегот ст.бр.82 - ст.бр.90 (2,665 km); изградба на нова делница меѓу ст.бр.8 и ст.бр.82 (18 km) со јаже AI/ [^] 240/40.
3	2.230.896	44,59	Реконструкција и замена на постојните спроводници AI/ [^] 150/25 со ново јаже TACSR 160/40 по постојната траса помеѓу столбовите бр.4 и бр.90.
4	4.333.761	32,94	Замена на јагето AI/ [^] 150/25 на потегот ст.бр.51 - ст.бр.90 со јаже AI/ [^] 240/40 (11,885 km) и изградба на нов вод, од ст. бр. 51 до TS 110/10 "Полог" долг 21,055 km со јагето AI/ [^] 240/40.

За разлика од нив, трошоците заради изгубената електрична енергија (кои во Елаборатот [1] се валоризирани со вредноста од $c_{\Delta W} = 0,043$ US\$/kWh, колку што изнесува сегашната просечна цена на произведениот киловат-час во нашиот ЕЕС) не се констатнти, туку тие од година во година растат со некаков годишен тренд на пораст кој е приближно двојно поголем од трендот на пораст x на конзумот во ЕЕС на Република Македонија. Бидејќи тој тренд однапред не е познат, во Елаборатот [1] се направени неколку сценарија кај кои тој тренд се движи во границите од 1 до 5% годишно, што одговара на вредноста на x од 1,01 до 1,05. Од тука произлегува заклучокот дека одговорот на прашањето која од разгледуваните варијанти е економски најповолна не е еднозначен зашто редоследот на варијантите во економската приоритетна листа ќе зависи од трендот на пораст на конзумот во наредниот период.

За економско споредување на разгледуваните варијанти во Елаборатот [1] е применуван методот на вкупни актуализирани трошоци [3]. За разгледуван период е земен периодот од наредните $n = 20$ години, колку што се проценува дека ТЕЦ "Осломеј" ќе биде во погон. Како што е вообичаено, за стапката на актуализација (дисконтирање) за инвестиции и трошоци во доменот на електростопанството е усвоена вредноста $p_a \% = 10\%$, односно за факторот на актуализација е земено дека неговата вредност изнесува $q = 1,1$.

Сумата на актуализираните трошоци за секоја од разгледуваните варијанти е пресметувана со изразот (1) [3]:

$$C = K + \sum_{i=1}^n \frac{K_P}{q^i} + \sum_{i=1}^n \frac{c_{\Delta W} \cdot \Delta W_i}{q^i} = K + K_P \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{q^i} + c_{\Delta W} \cdot \Delta W_{1998} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x^{2i}}{q^i} \quad (1)$$

Во последниот израз се воведени следните означувања:

K – трошоци на капиталот, т.е. во конкретниот случај трошоци потребни за изведување на предвидените зафати со реконструкцијата;

K_p – погонски годишни трошоци (трошоци за одржување на далекуводот), за кои е усвоено дека се исти за секоја наредна година и изнесуваат $K_p = (\alpha_p/100) \cdot K$;
 ΔW_i - загуби на електрична енергија во водот во i -тата година ($i > 1998$);
 ΔW_{1998} - загуби на ел. енергија во водот во текот на почетната, 1998-та година.

6. МОЖНОСТ ЗА ПРИМЕНА НА НОВИ ВИДОВИ ЈАЖИЊА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИЈА НА ПОСТОЈНИТЕ ДАЛЕКУВОДИ

Од примерите изнесени во табелата I е видно дека реконструкцијата на еден далекувод, наметната од потребата за зголемување на неговата преносна моќ, претставува инвестиционен зафат мерлив со изградбата на нов вод, бидејќи покрај замената на фазните спроводници, неопходна е и замена на некои од постојните столбови како и воведување поголем број нови столбови. Ова може да се избегне единствено доколку постојните спроводници се заменат со спроводници кои имаат слични механички особини како и претходните (пречник, пресек, единечна тежина) но ќе имаат зголемена трајна дозволена струја.

Во таа смисла би било корисно како пример да ни послужи искуството и практиката што се спроведува во корејското електростопанство (KEPCO) [4]. Ова електростопанство се бори со проблемот од наглата експанзија на економијата и високиот раст на потребите од електрична енергија. Потребите од електрична енергија во таа земја растат со просечен тренд од 11% годишно а таквиот висок тренд на пораст бара од нејзиното електростопанство тоа да ги дуплира своите производни и преносни капацитети практично на секои 6 до 7 години. Бидејќи изнаоѓањето на нови траси и изградбата на нови преносни водови во таа пренаселена земја е многу тешко – скоро неможно, единствената алтернатива која преостанува е зголемувањето на преносните капацитети на постојните водови по пат на замена (reconductoring) на нивните (сè уште нови) спроводници со такви или слични кои ќе имаат зголемена трајна дозволена струја.

На тој начин во изминатите три години во преносната мрежа на KEPCO се извршени вакви замени на спроводниците на голем број 154 kV и 345 kV преносни водови, со вкупна должина од 545 km, а се планира таа операција да се примени и на преостанатите високонапонски преносни надземни водови. Цената на овој вид "ревитализација" изнесува приближно 100.000 US\$/km.

За таа цел во Кореја, Јапонија и во некои други земји се развиени сосема нови типови комбинирани алучел-јажиња, кај кои со разни додатоци на метали во алуминиумовиот плашт и челичното јадро се постига значително подобрување на физичките и механичките особини на јажето и скоро двојно зголемување на дозволеното трајно струјно оптоварување. Овде, заради ограничениот простор, ќе бидат опишани само два типа вакви јажиња – типот TACSR (Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductors) и типот STACIR (Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor with Invar Reinforcement). И кај обата типа место обичниот елетротехнички алуминиум (Al-E), којшто се користи кај стандардните Al/[^] (односно ACSR) јажиња, се применува ултратеримички отпорна алуминиумова легура во која се додава циркониум и други метали, со што е овозможено трајно-дозволената работна температура да изнесува 210°C, а кратковремено дури и 240°C, без да дојде до деградација на јажето. Челичното јадро кај овие јажиња е изработено во форма на јаже од легирани челични жици со подобрени механички карактеристики, заштитени со цинк (кај типот TACSR) односно инвар (кај типот STACIR). Инварот и

разните додатоци во челикот кај последниот тип јаже овозможуваат значително подобрување на неговите физички и механички особини. На тој начин е постигнато модулот на еластичност на ова јаже да биде двојно поголем, додека пак неговиот температурен коефициент на линеарно издолжување да биде помал за 25% од истиот кај класичните ACSR јажиња. Со тоа се постига провесите кај овие јажиња дури на 210°C да бидат исти со тие што се имаат кај класичните ACSR јажиња на температура 90°C.

Вакви јажиња се произведуваат за разни пресеци и со разни конструкции, според стандардот LGC и според јапонскиот стандард JEC 3406/95. Во табелата II се прикажани поважните механички и физички особини на некои почесто употребувани типови класични Al/^(ACSR) јажиња како и кај некои јажиња од новата генерација за коишто беше зборувано во текстот.

Табела II. Физички и механички карактеристики на разгледуваните алуцел-јажиња

	Ознака на јажето	Al/^(150/25)	Al/^(150/25)	TACSR 160/40	STACIR 160/40
1	Пресек на Al – плашт, mm ²	148,9	243,0	159,3	159,3
2	Пресек на Fe – јадро, mm ²	24,2	39,5	37,16	37,16
3	Вкупен пресек на јажето, mm ²	173,1	282,5	196,5	196,5
4	Надворешен пречник на јажето, mm	17,1	21,9	18,2	18,2
5	Број и пречник на Al-жици, N°/mm	26/2,7	26/3,2	30/2,6	30/2,6
6	Број и пречник на Fe-жици, N°/mm	7/2,1	7/2,49	7/2,6	7/2,6
7	Однос на пресеците $\varepsilon = A_{Al}/A_{Fe}$	6:1	6:1	4,3:1	4,3:1
8	Модул на еластичност, daN/mm ²	7.700	7.700	9.080	16.500
9	Темп. коеф. на линеарно издолжув., (1/°C)	18,9x10 ⁻⁶	18,9x10 ⁻⁶	18,0x10 ⁻⁶	15,3x10 ⁻⁶
10	Минимална сила на кинење, daN	5.418	8.473	6.980	6.140
11	Маса по единица должина, kg/km	605	987	732,8	740,3
12	Специфична тежина, (daN/m, mm ²)x10 ³	3,40	3,432	3,657	3,657
13	Средна омска отпорност при 20°C, Ω/km	0,194	0,119	0,185	0,185
14	Нормално дозв. напрегање, daN/mm ²	13	13	14,5	14,5
15	Исклучително дозв. напрегање, daN/mm ²	24,5	24,5	27,0	27,0
16	Трајно дозвол. струјно оптоварување, A	400	640	706	883
17	Мах. трајна дозволена температура, °C	90	90	150	210
18	Специфична цена (набавна), DEM/kg	5	5	8	25

7. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на техничките и економските анализи, вршени во Елаборатот [1] може да се констатира следното.

Основната цел на предвидените реконструкции на 110 kV далекувод Осломеј – Вруток (Полог) е неговата ревитализација и зголемување на неговата пропусна моќ.

Во таа смисла, кај секоја од варијантите е предвидена замена на постојната изолација, вметнување на нови столбови на потребните места со кои се појачува далекуводот во механичка и електричка смисла како и замена на постојното јаже Al/^{150/25} со ново, кое има поголем пресек или поголема трајна дозволена струја. На тој начин се постигнуваат бараните цели – зголемување на доверливоста во работата на далекуводот и зголемување на неговата пропусна моќ. Според сите разгледувани варијанти, трајно–дозволената струја на далекуводот во новите услови ќе биде струјата 640 А, колку што е дозволено за јажето Al/^{240/40} според JUS N.C1.351 во услови кога е температурата на амбиентот +40°C и на водот дејствува ветер со брзина 0,6 m/s. На таа струја при напон $U = U_n = 110 \text{ kV}$ соодветствува пренесувана привидна моќност од 123 MVA, а тоа е за 70% повеќе во однос на сегашната пропусна моќ на тој вод.

Од сите разгледувани варијанти, во поглед на потребните инвестиции, неопходни за предвидените реконструкции и зголемување на пропусната моќ на водот Осломеј – Полог, убедливо најповолна е варијантата бр. 3 според која на постојната траса се врши само замена на постојното јаже Al/^{150/25} со ново јаже од типот TACSR 160/40. Потребните средства за реализација на оваа варијанта изнесуваат околу 2.231.000 DEM, што е за околу 30% помалку во однос на средствата што се потребни за реализацијата на варијантата бр. 1 (сва 2.955.000 DEM) која е веднаш зад неа во поглед на потребните средства за реализација.

Во поглед на загубите на моќност и енергија во преносот, убедливо најповолна е варијантата бр. 4 според која должината на водот се скратува на само 32,94 km. На второ место во поглед на големината на загубите на моќност и енергија во преносот е варијантата бр. 2 но загубите во преносот кај оваа варијанта се поголеми во однос на загубите кај варијантата бр. 4 за над 30%.

Доколку пак анализираните варијанти сакаме да ги споредуваме според вкупните трошоци (инвестиции за реконструкцијата/ревитализацијата, потребни средства за одржување на далекуводот и трошоци заради загубите на електрична енергија во преносот), интегралниот критериум за оптималност во тој случај треба да биде сумата на вкупните актуализирани трошоци C (релација 1). Од оваа релација е видно дека еднозначен одговор на прашањето која варијанта е најповолна, од аспект на сите трошоци, нема, бидејќи сумата на вкупните актуализирани трошоци во голема мерка зависи од трендот на пораст на конзумот x во наредниот период. Сепак, генерално може да се каже дека за мали стапки на пораст на конзумот кои не ја надминуваат вредноста од 3% годишно, најповолна ќе биде варијантата бр. 2, а многу блиску до неа (со занемарлива разлика) е варијантата бр. 1. Меѓутоа, доколку просечната стапка на пораст на конзумот во наредниот период би ја надминувала вредноста од 3% годишно, тогаш за најповолна ќе треба да се смета варијантата бр. 4, бидејќи вкупните трошоци кај неа се најмали.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Економско–технички елаборат за ревитализација и зголемување на пропусната моќ на 110 kV вод (бр/ 106/1) "Вруток – Осломеј", Елаборат, изработен на барање на Ј.П. "Електростопанство на Македонија", Подружница "Електропренос" – Скопје, "TIMEX" Д.О.О - Охрид, Деловна единица Скопје.

- [2] Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 до 400 kV, Сл. лист на СФРЈ, број 65/1988 г.
- [3] Р. Ачковски, *Преносни и дисџрибуџивни сисџеми* – Учебник. Електротехнички факултет–Скопје, 1995 г.
- [4] М. Wook, М. Choi, А. Deb, *Line-Rating System Boosts Economical Energy Transfer*, IEEE Computer Application in Power, October 1997, pp. 36-39.

Костадин Стамболиев Дипл.ел.инж.
Фида Николова Дипл.ел.инж.
ЈП Електростопанство на Македонија - Скопје
Подружница Електродистрибуција Струмица

ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ DV

КРАТКА СОДРЖИНА

Во рефератот е дадена предноста на програмскиот пакет DV над рачното проектирање на 20 kV далекуводи. Програмскиот пакет најде голема примена при проектирање на далекуводи во струмичкиот конзум со што времето на работа беше намалено а квалитетот на самите Проекти беше подигнат на едно повисоко ниво. Овде е покажана евидентната разлика и предностите на овој пакет во однос на рачното проектирање на 20 kV DV со конкретен пример: 20 kV далекувод од TS110/10(20) kV Сушица до TC 10/0,4 kV Пропуст.

SUMMARY

The advantage of the programe package LDPL over the manual projecting of 20 kV long distance power line (pipeline), is presented in this report paper. This programe package has been widely used in projecting long - distance power lines in Strumica consum, and it greatly contributed to shorter duration of projecting but to higher level of program quality. The obvius difference and the advantages are shown here by, in relation to the manual projecting of 20 kV LDPL by a concrete example from TPS 110/10(20) kV Susica to TPS 10/0,4 kV Propust.

1. ОПИС НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ DV

Програмскиот пакет DV е составен од два дела. Првиот дел (DVX) дава можност да се избере една од следните активности:

- селекција на столбови и изолатори
- пресметка на дозволени распони на столбовите
- креирање-модификација на трасата на далекуводот
- пресметување и печатење на табелите на сили
- крај-излез од програмата

Во првата активност се избираат од менито и се селектираат столбовите и изолаторите кои ќе ги користиме при изградба на далекуводот (се мисли на типот на столбовите: носеки или аголно-затезни, со нивниот производител и видот на изолаторите: единечни или двојни).

Активноста креирање-модификација на трасата на далекуводот опфаќа внесување на податоците за стациоаната, котата и соодветниот опис на теренот за секоја точка од надолжниот профил снимена од геометарот.

Вториот дел од програмскиот пакет (DV) овозможува распоредување на столбни места по трасата на далекуводот со тестирање на варијантата и нејзиното запишување како и печатење на излезните табели.

Тестови се прават на :

- височината на спроводниците над тлото
- височината на спроводниците над пресечните објекти
- растојанијата помеѓу спроводниците
- ветровите распони на столбови
- гравитационите распони на столбовите
- напрегањата во овесиштата на јажињата

Резултатите од тестирањата можат да бидат позитивни или негативни. Сите позитивни тестови добиваат симбол "О.К.", додека сите негативни тестови добиваат симбол " * ". После тестовите следува задолжителна порака :

"Сите тестови се успешни" или
"Решението не е технички исправно"

2. РАЧНО ПРОЕКТИРАЊЕ НА 20 kV DV НА БЕТОНСКИ СТОЛБОВИ ОД ТС 110/10(20)kV СУШИЦА ДО ТС !0/0,4 kV ПРОПУСТ

Предметниот далекувод TS 110/10 kV Сушица-Пропуст Р.Бугарија е проектиран за прв пат 1983 година и истиот е изграден во периодот на 1984 година каде во втората половина од истата година беше пуштен во погон.

Карактеристиките на далекуводот се:

- проводници Al-Ce	3 x 50 mm ²
- номинален пресек	50 mm ²
- пресек на алуминиумскиот плошт	48,3 mm ²
- пресек на челичното јаже	8 mm ²
- вкупен пресек на јажето	48,3 mm ²
- однос на Al-Ce	6:1
- додатно оптоварување	0,18 dN/m

- среден распон	$a_{sr} = 90 \text{ m}$
- гравитационен распон	$a_{gr} = 120 \text{ m}$
- максимално напрегање	$\sigma_m = 9 \text{ dN/mm}^2$
- притисок на ветерот	$P_v = 75 \text{ dN/m}^2$

Сите пресметки кои требаше да ги правиме согласно правилникот за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови објавени во Службен Лист на СФРЈ 51/73, 69/73 и 11/80 ги правевме на рака. Ги користевме сите вообичени формули кои ќе ги наведеме во понатамошниот текст.

- Пресметката на силите на водот ги правевме за сите три случаи и тоа:

Случај А : $V_x = 0$
 $V_y = 0$
 $V_z = G_i + G_p \times a_{gr}$

каде: G_i -тежина на изолаторот
 G_p -тежина на проводникот
 a_{gr} - граничен распон

Случај Б : $V_y = 0$
 $V_x = a_{sr} \times dp \times P_{vx}$

каде: a_{sr} - среден распон
 dp - пречник на проводникот
 P_{vx} - притисок на ветерот по x оската

Случај Ц : $V_x = 0$
 $V_y = 0.25 a_{sr} \times dp \times P_{vy}$

каде : P_{vy} - притисок на ветерот по у оската

- Потребното растојание помеѓу проводниците го правевме по формулата:

$$D = K\sqrt{f} + l + 0.7U_n \quad (1)$$

каде: f - провес на проводникот при $+ 40^{\circ}\text{C}$ (cm)

l - должина на изолаторскиот ланец ($l=0$ за потпорни изолатори)

U_n - номинален напон на водот во кV

$K = 2 + \frac{\varphi}{10}$ коефициент кој го одредуваме зависно отклонот на проводниците φ поради силата на ветерот.

$$\varphi = \arctg \frac{P_v * dp}{gp} \quad (2)$$

dp - пречник на јажето

gp - средна тежина на јажето

-Критичниот распон и критична температура ги одредуваме по формулите:

$$a_{kr} = 6 * \sigma_m \sqrt{\frac{10\alpha}{\gamma d^2 - \gamma^2}} \quad (3)$$

$$t_{kr} = \frac{\sigma_m}{\alpha E} \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_d} \right) - 5 \quad (4)$$

каде е:

σ_m - максимално затегање на проводник

α - коефициент на тоталното истегање

γ - специфична тежина на проводникот

γ_d - специфична тежина на проводникот со додатен товар

E -модул на еластичноста

- Монтажни таблици и криви(ланчаница) за проводниците

За да можеме да ги нанесеме столбовите по трасата односно надолжниот профил моравме да ја направиме монтажната таблица и кривата (ланчаницата). Оваа нешто го правевме со помош на равенката која се однесува на состојбата на проводниците зависно од тежината, специфичната тежина, температурата и затегањето на водот.

$$\sigma_x - \frac{a^2 \gamma_x E}{24\sigma_x^2} = \sigma_m - \frac{a^2 \gamma_m^2 E}{24\sigma_m^2} - \alpha E (t_x - t_r) \quad (5)$$

Каде:

σ_x - барано напрегање во проводникот (dN/mm^2)

σ_m - максимално дозволено напрегање во проводникот (dN/mm²)
 γ_x - специфична тежина на проводникот при σ_x (dN/m mm²)
 a - распон
 t_x - температура на воздухот при режимот за кој се врши пресметка (°C)
 t_r - температура на воздухот при σ_m (°C)
 α - коефициент на топлинско истегање (1/°C)
 E - модул на еластичноста (dN/mm²)

Решавајќи ја горната равенка за состојбата на проводникот добиваме равенка од трети степен :

$$\sigma_x^3 + B\sigma_x^2 = a \quad (6)$$

каде:

B - добиена вредност од апсолутната величина во основната равенка
 a - распон

Решавањето на оваа равенка го правевме со помош на шибер и тоа за повеќе распони " a " почнувајќи од 50 m па до 500 m со цел да добиеме крива која ќе ни овозможи да ги нанесеме столбовите на надолжниот профил.

Решавањето на оваа равенка претставуваше голема тешкотија и подолга работа. При тоа ланчаницата која ја добиваме требаше да се употреби само за одреден пресек на проводникот и одредено максимално напрегање.

За реализацијата на овој Проект потрошените работни часови изгледаат вака:

а) Снимање на надолжниот профил и изработка на истиот на милиметарска хартија потрошени беа 12 h/km или вкупно 108 h.

б) За пресметка на водот и конструирање на ланчаницата потрошени беа 80 h.

в) Нанесување на столбните места по надолжниот профил на трасата потрошени беа 80 h.

г) За комплетирање на целиот проект се потрошени вкупно 268 h или тоа приближно изнесува двајца работници да работат по три недели на предметниот проект.

Со употребата на програмскиот пакет за проектирање на водови од среден напон во нашиот конкретен случај 20 kV се отпочна некаде во 1991 година.

Од тогаш, па наваму ние сите наши Проекти, измени и дополнувања за 20 kV далекуводи ги работиме со програмскиот пакет и во понатамошниот текст сакаме да ја опишеме работата со него.

3. КОМПЈУТЕРСКО ПРОЕКТИРАЊЕ НА 20 kV DV НА БЕТОНСКИ СТОЛБОВИ ОД TS 110/10(20) kV СУШИЦА ДО TS 10/0,4 kV ПРОПУСТ

При компјутерското поставување на столбните места од 20 kV далекувод од TS 110/10(20) kV Сушица до TS 10/0.4 kV Пропуст се дојде до следните сознанија:

- Првото затезно поле со должина од 1333 m' може да биде изградено со 16 столбни места од кои 14 се носеќи, а 2 (почетниот и последниот) се аголно-затезни, наместо со 19 како што е добиено со рачното проектирање, а при тоа сите тестови да бидат позитивни.

- Второто затезно поле со должина од 657.3 m' е идентично и во двата случаја и се разбира со позитивни тестови.

- Третото затезно поле во должина од 1915.8 m' исто така дозволува заштеда од две столбни места, односно може да биде изградено со 21 наместо со 23 столбни места.

- Четвртото затезно поле со должина од 1459.1 m' не само што може да биде изградено со 17 наместо со 19 столбни места, туку и покажува недозволена поставување на столбот бр. 69 на стационожа 5337.7 заради ограничување во висината на истиот столб.

- Петтото затезно поле ни јавува девет неправилно поставени столбни места поради што изградбата би била овозможена со 20 столбни места наместо 17 кои се поставени на овој дел од трасата на предметниот далекувод.

- Во шестото затезно поле исто така се јавува проблемот со шест неправилно поставени столбни места што пак повлекува вградување на 23 наместо 22 столбни места.

Според тоа проектирањето на далекуводот на деловите од трасата со рамничарски карактер и со помалку пресечни објекти покажува отстапувања во однос на бројот на столбните места, додека на деловите од трасата со планински карактер и со премини преку пат од 1 ред покажува недозволена поставени столбни места, како поради висината на столбовите, така и поради растојанијата на проводниците и гравитационите распони.

4. ПРЕДНОСТИ НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ DV

Една од најголемите предности на програмскиот пакет е секако сигурноста на корисникот за задоволени технички прописи за изградба на надземни водови. Едноставно проектантот е ослободен од грижата да не погреша. Негова задача е точно да ја внесе трасата на далекуводот со сите карактеристики за теренот и премините преку други објекти, а техничките прописи за сите потребни (дозволени и сигурносни) растојанија се грижа на програмскиот пакет.

-Многу голема предност на пакетот е исто така и брзината на проектирање. Ако за проектирање на 20 kV DV Сушица-Пропуст ни беше потребно 268 часа со програмскиот пакет тоа време изнесува максимално 40 часа. При тоа времето на цртање на надолжниот профил од страна на геометарот воопшто не е влезено во вкупното време на проектирање, додека времето на креирање на трасата на рачунарот е вкalkулирано во овие 40 часа.

-Изготвувањето на документацијата за соодветниот проект со програмскиот пакет е премногу едноставно: се печатат излезните табели, а исто така се печати и надолжниот профил за соодветното затезно поле. Значи, пресметки, туширање, умножување не се потребни. Испечатените табели содржат сè што е потребно за комплетирање на Проектот за било кој далекувод.

-Корекциите за измена на стационожа на столб или пак тип на столб се многу брзи. Оваа особина на пакетот пак од друга страна во многу ја упростува работата на теренот. Со изготвена варијанта геометарот при колчењето на далекуводот во

случај на спор од страна на сопствениците на парцелите ги забележува спорните локации кои откако ќе се проверат со програмскиот пакет можат да бидат и озваничени. На тој начин се избегнуваат на само непријатностите туку и можноста за забрана на изградбата на далекуводот, а секако во голема мера се заштитува и угледот на нашата организација.

Од сето погоре кажано можеме да заклучиме: Програмскиот пакет ДВ претставува основно средство за работа за секој проектант кој се занимава со проектирање на надземни далекуводи.

**МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ
СИСТЕМИ – СИГРЕ, СКОПЈЕ**
ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО–СИГРЕ

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж, Електротехнички факултет – Скопје

**ИТЕРАТИВНА ПОСТАПКА ЗА РЕШАВАЊЕ
НА РАВЕНКАТА НА СОСТОЈБАТА**

КРАТКА СОДРЖИНА

При проектирањето на надземните водови (НВ) е неопходно за секој од распоните од водот да се прикаже "монтажната табела", т.е. табеларната зависност на механичкото напрегање на спроводниците/јажињата од нивната температура. Таа зависност математички е опишана со т.н. "равенка на состојбата" која претставува една алгебарска равенка од трет степен. За нејзиното решавање во денешно време најчесто се користат компјутери при што е вообичаено за таа цел да се применува некоја нумеричка постапка.

Во трудот е прикажан нов, сосема едноставен, алгоритам за решавање на равенката на состојбата. Дадени се и ефикасни изрази за определување на добро почетно решение на равенката. Тие даваат такви почетни решенија кои секогаш доведуваат до брза и сигурна конвергенција на итеративниот процес на решавање.

SUMMARY

A new and simple algorithm for solving the state equation, when designing an overhead transmission line is presented in this article. The state equation, which gives the relation between the tension in the conductors/wires and their temperature, is an algebraic equation of third order. The proposed algorithm is based on the Newton iterative method application for numerical solution the algebraic equations. Initial solution, necessary for the iterative procedure, is estimated by means of simple formulae, and it is quite near the real solution of the state equation That way the convergence of the iterative process is always possible after a few iterations only.

Клучни зборови: Проектирање на надземни водови, равенка на состојбата, нумеричко решавање.

1. ВОВЕД

При проектирањето на НВ и при изборот на стојните места, типовите и височините на столбовите, потребно е да се води сметка за разни технички ограничувања. Кај нас со Техничките нормативи [1] прецизно се дефинирани условите што треба да бидат задоволени при градбата на НВ со цел да биде обезбедено одредено

ниво на сигурност како на самите водови, така и на објектите, луѓето и другите суштества што можат да се наоѓаат во непосредна близина на водовите.

Едно од техничките ограничувања што се поставува пред проектантот е задоволување на сигурносните висини на спроводниците над земјата и над објектите на неа во сите можни услови на работа на водот. Други ограничувања се поставуваат во однос на големината на механичките сили со кои спроводниците и јажињата дејствуваат врз столбовите од водовите. Трети ограничувања се однесуваат на големината на напрегањата во самите спроводници и заштитни јажиња во сите услови на работа. Освен тоа во склопот на проектот на еден НВ е неопходно за секој негов распон да бидат прикажани зависностите на напрегањето на спроводниците и јажињата од температурата θ во температурниот интервал од $\theta_{\min} = -20^{\circ}\text{C}$ до $\theta_{\max} = +40^{\circ}\text{C}$. Тие зависимости обично се прикажуваат во вид на табели и се користат, од една страна, за проверка на механичките напрегања на столбовите, а од друга, при самото монтирање на спроводниците и јажињата. Затоа тие уште се нарекуваат "монтажни табели".

Значи, во сите наведени проверки и пресметки, основна задача е определување на зависноста на напрегањето на спроводниците и јажињата од нивната температура, бидејќи потоа лесно се одредуваат сите потребни механички сили, обликот на верижникот (ланчаницата) на спроводниците и јажињата, положбата на темето на верижникот како и положбата на самиот верижник во однос на тлото и објектите на тлото.

2. РАВЕНКА НА СОСТОЈБАТА

Математичката формулација на зависноста на напрегањето σ од температурата θ на верижникот на спроводникот/јажето во изворна форма е прилично сложена. Таа претставува една трансцедентна равенка чиешто решавање може да се изведе единствено по нумерички пат, а го има следниов облик [2]:

$$\frac{\sigma_0}{p_0} \cdot \text{sh} \frac{p_0 \cdot a}{2\sigma_0} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)] \cdot [1 + \frac{\sigma - \sigma_0}{E}] = \frac{\sigma}{p} \cdot \text{sh} \frac{p \cdot a}{2\sigma}. \quad (1)$$

Во релацијата (1) одделните големини го имаат следното значење:

σ – механичко напрегање на спроводникот/јажето;

p – специфична тежина на спроводникот, т.е. тежина по единица должина, редуцирана на 1 mm^2 ;

θ – температура на спроводникот/јажето;

α – температурен коефициент на линеарно издолжување на спроводникот/јажето;

E – модул на еластичност на спроводникот/јажето;

a – распон.

Големините p , σ и θ се нарекуваат параметри на состојбата на спроводникот, односно јажето. Притоа со p_0 , σ_0 и θ_0 во (1) се означени параметрите на познатата состојба и тие се сите познати додека, пак, со p , σ и θ се означени параметрите на новата – непозната состојба. Во новата состојба непознат е еден од параметрите,

најчесто напрегањето σ , додека останатите две се сметаат за познати или пак тие се зададени.

Како што може да се види од релацијата (1), решавањето на оваа трансцедентна равенка, т.е. определувањето на вредноста на непознатата σ не е воопшто едноставно и бара ефикасна нумеричка постапка која практично може да се реализира со примена на компјутер.

Врската меѓу напрегањето σ и температурата θ ќе има многу поедноставен математички облик ако формата на кривата што спроводниците ја заземаат под дејство на тежината и која претставува верижник, ја апроксимираме со една парабола. Истражувањата во рамките на овој труд покажаа дека ваквата апроксимација е сосема прифатлива за големина на тоталните распони до сса 500 m, т.е. практично за најголемиот број распони кои во практиката се среќаваат кај надземните водови. Случаите кога тоталниот распон е поголем од 500 m се доста ретки и тогаш определувањето на зависноста $\sigma(\theta)$ ќе мора да се врши преку изворната релација (1).

Кога верижникот го апроксимираме со една парабола врската меѓу двете состојби на спроводникот/јажето се опишува со многу поедноставна релација [3]:

$$\frac{p^2 \cdot a^2}{24\sigma^2} - \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24\sigma_0^2} = \alpha \cdot (\theta - \theta_0) + \frac{\sigma - \sigma_0}{E}. \quad (2)$$

Ако во (2) како непозната се јавува напрегањето σ во новата состојба, тогаш за нејзиното определување ќе биде потребно да се реши следнава алгебарска равенка [3]:

$$\sigma + m = \frac{n^2}{\sigma^2}. \quad (3)$$

Во равенката (3) се воведени следните означувања:

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24\sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0 \quad \text{и} \quad n = p \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E}{24}}. \quad (4)$$

Во рамките на овој труд се направени определени истражувања на големината на грешката во решението поради тоа што наместо преку релацијата (1), непознатото напрегање σ го пресметуваме преку релацијата (2). Тие покажале дека за распони помали од споменатите 500 m, грешката по апсолутен износ не ја надминува вредноста 0,1%. Решението добиено со толкава точност ќе биде за нас сосема прифатливо затоа што врз точноста на решението не влијае само математичкиот модел преку кој сме дошле до него туку влијае и точноста со која ни се познати влезните податоци, т.е. механичките карактеристики на спроводниците и јажињата. За жал, точноста со која се познати вредностите на влезните параметри во релацијата (2) е значително помала од наведената, па според тоа равенката (2) ќе претставува за нас сосема прифатлив математички модел.

3. РЕШАВАЊЕ НА РАВЕНКАТА НА СОСТОЈБАТА

Равенката (2) во општ случај има три решенија (корени) од кои едното е секогаш реално и позитивно, а останатите две се реални и негативни или пак се коњуги-

рано комплексни. За нас е од интерес единствено реалното позитивно решение. Нејзиното решавање во принцип може да се изведе на два различни начина: класично, преку радикали (со помош на т.н. "карданови формули" [4]), или пак нумерички, со некоја итеративна постапка. Класичниот начин на решавање е премногу сложен за практична примена, па затоа, тој ретко се користи. За таа цел во практиката се користат други постапки кои најчесто се итеративни или, пак, рекурентни. Постои и трет, т.н. "табеларен" начин на решавање на равенката на состојбата [3] според кој решението на равенката (2) односно (3) се добива со директно отчитување од готови, претходно изготвени табели.

Овде ќе бидат накусо прикажани последните два споменати начина за решавање на наведениот проблем. Едниот начин користи, значи, готови претходно формирани табели на решенијата на равенката на состојбата (2), и него ќе го наречеме табеларен начин на решавање. Вториот начин е познатиот Њутонов метод за итеративно решавање на алгебарските равенки.

3.1. Табеларен начин за решавање на равенката на состојбата

Доколку не располагаме со компјутер или рачен калкулатор, решението на равенката (3) можеме да го добиеме со помош на табели. Кај табеларниот начин на решавање се користат готови табели во која се прикажани решенијата на равенката на состојбата (3). Такви табели може да се најдат во [3].

Решението σ на оваа равенка ќе зависи од вредноста на параметрите m и n . Параметарот m може да има произволна вредност во интервалот $(-\infty, \infty)$, додека параметарот n секогаш ќе има позитивна вредност во интервалот $(0, \infty)$. Во табелата I се прикажани решенијата на равенката на состојбата (3) (заокружени на втората децимала), за разни вредности на параметарот m во интервалот $(0, 20)$ и разни вредности на параметарот n , во интервалот $(1, 15)$.

Табела I. Решенија на равенката на состојбата (3)

m/n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1.00	1.59	2.08	2.52	2.92	3.30	3.66	4.00	4.33	4.64	4.95	5.24	5.53	5.81	6.08
1	0.75	1.31	1.79	2.23	2.63	3.00	3.35	3.69	4.02	4.33	4.63	4.93	5.21	5.49	5.77
2	0.62	1.13	1.58	2.00	2.39	2.75	3.10	3.43	3.75	4.06	4.36	4.65	4.94	5.21	5.48
3	0.53	1.00	1.43	1.82	2.19	2.55	2.89	3.21	3.52	3.83	4.12	4.41	4.69	4.96	5.23
4	0.47	0.90	1.30	1.68	2.04	2.38	2.70	3.02	3.33	3.62	3.91	4.19	4.47	4.74	5.00
5	0.43	0.83	1.20	1.56	1.90	2.23	2.55	2.85	3.15	3.44	3.72	4.00	4.27	4.53	4.79
6	0.40	0.77	1.12	1.46	1.79	2.11	2.41	2.71	3.00	3.28	3.56	3.83	4.09	4.35	4.61
7	0.37	0.72	1.06	1.38	1.70	2.00	2.30	2.58	2.87	3.14	3.41	3.67	3.93	4.19	4.44
8	0.35	0.68	1.00	1.31	1.61	1.91	2.19	2.47	2.75	3.01	3.28	3.53	3.79	4.04	4.28
9	0.33	0.64	0.95	1.25	1.54	1.82	2.10	2.37	2.64	2.90	3.16	3.41	3.65	3.90	4.14
10	0.31	0.61	0.91	1.20	1.48	1.75	2.02	2.28	2.54	2.80	3.05	3.29	3.53	3.77	4.01
11	0.30	0.59	0.87	1.15	1.42	1.68	1.95	2.20	2.45	2.70	2.95	3.19	3.42	3.66	3.89
12	0.29	0.56	0.84	1.10	1.37	1.63	1.88	2.13	2.37	2.62	2.85	3.09	3.32	3.55	3.78
13	0.27	0.54	0.81	1.07	1.32	1.57	1.82	2.06	2.30	2.54	2.77	3.00	3.23	3.45	3.67
14	0.26	0.52	0.78	1.03	1.28	1.52	1.76	2.00	2.23	2.46	2.69	2.92	3.14	3.36	3.58
15	0.26	0.51	0.76	1.00	1.24	1.48	1.71	1.94	2.17	2.40	2.62	2.84	3.06	3.27	3.49
16	0.25	0.49	0.73	0.97	1.21	1.44	1.67	1.89	2.11	2.34	2.55	2.77	2.98	3.20	3.41
17	0.24	0.48	0.71	0.94	1.17	1.40	1.62	1.84	2.06	2.28	2.49	2.70	2.91	3.12	3.33
18	0.23	0.47	0.69	0.92	1.14	1.36	1.58	1.80	2.01	2.22	2.43	2.64	2.85	3.05	3.25
19	0.23	0.45	0.68	0.90	1.11	1.33	1.54	1.76	1.97	2.17	2.38	2.58	2.79	2.99	3.18

20	0.22	0.44	0.66	0.88	1.09	1.30	1.51	1.72	1.92	2.13	2.33	2.53	2.73	2.92	3.12
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

За вредностите на m и n што се надвор од споменатите интервали, ќе треба да се користат други начини на решавање на равенката (3) или да се изврши проценка на решението σ со помош на една од релациите, прикажани во табела II.

Табела II. Изрази за приближно определување на напрегањето σ

$m \rightarrow -\infty$	$m \rightarrow 0$	$m \rightarrow \infty$	$n \rightarrow \infty$
$\sigma \rightarrow -m$	$\sigma \rightarrow n^{2/3} - m/3$	$\sigma \rightarrow n / \sqrt{m+n} / \sqrt{m}$	$\sigma \rightarrow n^{2/3}$

Табелата I ги дава напрегањата σ за дискретни вредности на параметрите m и n . За вредности на m и n што не се цели броеви, решението σ ќе се добие, на пример, со примена на постапката за линеарна интерполација [3]. Линеарната интерполација, во принцип, ќе внесе некаква грешка, но таа е обично занемарливо мала.

3.2. Итеративна постапка за решавање на равенката на состојбата

Кога не располагаме со гореспоменатата табела или пак кога некој од параметрите m или n не е опфатен со неа, решението на равенката на состојбата (3) ќе можеме да го добиеме и нумерички, со некоја итеративна постапка. Како сосема погодна за таа цел се покажала постапката која базира на примената на њутоновиот итеративен метод [3]. Оваа итеративна постапка се покажала како сосема робусна и ефикасна бидејќи таа дава решение за сите можни случаи што можат да се појават во практиката. Конвергенцијата на итеративниот процес е притоа секогаш осигурена а потребниот број итерации е сосема мал.

Ако ја воведеме функцијата:

$$f(\sigma) = \sigma + m - n^2 / \sigma^2, \quad (5)$$

ќе имаме:

$$f'(\sigma) = 1 + 2n^2 / \sigma^3. \quad (6)$$

Според њутоновиот метод, вредноста на непознатата σ_{k+1} во $k+1$ -та итерација ќе ја добиеме ако ни е позната вредноста на непознатата σ_k во k -тата итерација, со помош на релацијата (7):

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{f(\sigma_k)}{f'(\sigma_k)} ; \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (7)$$

односно:

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{\sigma_k + m - n^2 / \sigma_k^2}{1 + 2n^2 / \sigma_k^3} ; \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (8)$$

Секоја итеративна постапка што се применува за решавање на равенката на состојбата ќе бара познавање на едно почетно решение $\sigma_0 = \sigma_p$ кое мора да биде доволно блиску до вистинското решение σ_T , за итеративниот процес на решавање

сигурно да конвергира, а бараното решение (при однапред зададена точност) да се добие со што е можно помал број итерации.

Изборот на почетното решение σ_p е наједноставен кога ја користиме табелата I (со или без примена на постапката за линеарна интерполација). Друг начин за добивање на добро почетно решение σ_p е можен со примена на релациите (9 а)...(9 д) [3].

1. случај, кога е $m > 0$

$$\sigma_p = \sigma_D + 0,3 \cdot (\sigma_G - \sigma_D), \quad (9 \text{ а})$$

каде што е $\sigma_G = n/\sqrt{m}$ и $\sigma_D = \sigma_G / (1 + \sigma_G / 2m)$, при што со σ_D и σ_G се означени долната и горната граница од интервалот во кој со сигурност се наоѓа точното решение σ_T , т.е. $\sigma_D \leq \sigma_T \leq \sigma_G$.

2. случај, кога е $m < 0$

$$\sigma_p = n^{2/3} + \frac{|m|}{3}, \quad \text{кога е } n^{2/3} > |m|; \quad (9 \text{ б})$$

$$\sigma_p = |m| + \frac{n^{2/3}}{3}, \quad \text{кога е } n^{2/3} \leq |m|; \quad (9 \text{ в})$$

3. случај, кога $|m| \rightarrow 0$

$$\sigma_p = n^{2/3} - \frac{m}{3}. \quad (9 \text{ г})$$

Релациите (9 а)...(9 г) обезбедуваат во сите случаи добро почетно решение σ_p , така што конвергенцијата на итеративниот процес е секогаш загарантирана, а потребниот број на итерации со кои ќе се добие решение со доволно висока точност, е релативно мал. Многу поточни проценки на почетното решение σ_p (но затоа и посложени изрази за неговото пресметување) се изнесени во [5]. Со нив се добива решение според алгоритмот (8) со многу висока точност (грешката на решението помала од 0,001%) за најмногу три итерации.

За решавање на равенката на состојбата, како особено брза и практична се покажала и следната итеративна (рекурентна) постапка:

$$\sigma_{k+1} = \frac{n}{\sqrt{m + \sigma_k}}; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

Постапката (10) е во случајот $m > 0$ секогаш конвергентна. Во случаите кога е $m < 0$, конвергенцијата е поспора, па дури може да се случи процесот воопшто и да не конвергира, независно од точноста со која е определено почетното решение σ_p . Затоа, кога е $m < 0$, препорачливо е да се користи постапката (8) која базира на примената на њутоновиот итеративен метод, затоа што е тој, и покрај својата релативна спорост, секогаш конвергентен. Во случаите кога е $m > 0$, заради својата едноставност и брзина, поефикасно е да се применува рекурентната релација (10).

Во продолжение ќе бидат дадени два примера преку кои ќе може на наједноставен начин да биде прикажана примената на споменатите итеративни постапки.

Пример 1. Да го определиме решението на равенката $\sigma + 4 = 16/\sigma^2$.

Во случајов ќе имаме $m = 4$ и $n^2 = 16$, т.е. $n = 4$, па за решавање на равенката на состојбата ќе ја примениме рекурентната постапка (10). Почетното решение σ_P ќе го добиеме според релацијата (9 а):

$$\sigma_G = n/\sqrt{m} = 4/\sqrt{4} = 2 \quad ; \quad \sigma_D = \sigma_G / (1 + \sigma_G / 2m) = 2 / (1 + 2/8) = 1,6,$$

па според тоа, ќе добиеме:

$$\sigma_P = \sigma_D + 0,3 \cdot (\sigma_G - \sigma_D) = 1,720.$$

Понатаму следи итеративниот процес според алгоритмот даден со (9):

$$\sigma_0 = \sigma_P = 1,720 \quad ;$$

$$\sigma_1 = n/\sqrt{m+\sigma_0} = 4/\sqrt{4+1,720} = 1,672 \quad ;$$

$$\sigma_2 = n/\sqrt{m+\sigma_1} = 4/\sqrt{4+1,672} = 1,680 \quad ;$$

$$\sigma_3 = n/\sqrt{m+\sigma_2} = 4/\sqrt{4+1,680} = 1,678 \quad ;$$

итн.

Очигледно е дека итеративниот процес на решавање може да се прекине веќе после третата итерација и за решение на проблемот да се прогласи последната вредност, т.е: $\sigma = \sigma_3 = 1,678$.

Пример 2. Да се определи решението на равенката $\sigma - 4 = 16/\sigma^2$.

Во овој случај имаме: $m = -4$; $n = 4$; $n^{2/3} = 2,52 < |m|$, па поради тоа, почетното решение ќе го добиеме со помош на (9 в):

$$\sigma_0 = \sigma_P = |m| + n^{2/3} / 3 = 4 + 2,52 / 3 = 4,84.$$

Бидејќи е $m < 0$, ќе го користиме њутоновиот итеративен метод, според алгоритмот (8). Во првата итерација ($k = 0$) ќе имаме:

$$f(\sigma_0) = \sigma_0 + m - n^2 / \sigma_0^2 = 0,157 \quad ; \quad f'(\sigma_0) = 1 + 2n^2 / \sigma_0^3 = 1 + 2 \cdot 16 / 4,84^3 = 1,282.$$

Понатаму, решението σ_1 од првата итерација, според (8), ќе биде:

$$\sigma_1 = 4,84 - 0,157 / 1,282 = 4,71756.$$

На сличен начин се постапува и понатаму, за секоја наредна итерација, па како резултат на итеративниот процес се добива следната низа решенија:

$$\sigma_0 = 4,84 ;$$

$$\sigma_1 = 4,71756 ;$$

$$\sigma_2 = 4,71861 ;$$

$$\sigma_3 = 4,71861 ;$$

итн.,

што значи дека за решение на задачата може да се прогласи вредноста $\sigma_3 = 4,71861$.

4. ЗАКЛУЧОК

Во рамките на главниот проект на еден надземен вод е неопходно за секој негов распон да бидат прикажани зависностите на напрегањето на спроводниците и јажињата од температурата θ во температурниот интервал од минималната до максималната температура (-20°C , $+40^\circ\text{C}$). Тие зависности обично се прикажуваат во вид на табели и се користат при самото монтирање на спроводниците и јажињата, поради што се нарекуваат "монтажни табели". Зависноста на напрегањето во спроводниците/јажињата од нивната температура може доволно добро да се опише со една алгебарска равенка од трет степен која се нарекува "равенка на состојбата". Најголем дел од пресметките кои се вршат при проектирањето на надземните водови се состои во нејзиното многукратно решавање, за разни состојби во кои можат да се најдат фазните спроводници и заштитните јажиња од надземниот вод.

Во трудот е најнапред опишан табеларен метод за решавање на равенката на состојбата (2). Тој се применува тогаш кога на проектантот не му стои на располагање компјутер или рачен калкулатор. Потоа е прикажана и итеративна постапка наменета за решавање на равенката (2) со помош на компјутер. Изложен е и начин за определување на добро почетно решение на равенката (2). Прикажаната итеративна постапка е едноставна, брза и сигурна бидејќи со мал број итерации го дава бараното решение со висока однапред зададена точност.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правилник за техничките нормативи за изградба за надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV, "Службен лист на СФРЈ" бр. 65/1988, стр. 1618-1643.
- [2] B. Stefanini, D`. Mufti}, *Prora~un idealnih raspona, verikalnih sila i provjesa vodi~a u stvarnim rasponima*, Ref. br. 22/06, pp. 53–63, XI Stru~no savjetovanje elektroenergeti~ara Jugoslavije, Ohrid, 1972.
- [3] P. Ачковски, *Надземни и кабелски водови*, – скрипта, Електротехнички факултет – Скопје, 1995.
- [4] D. Mitrinovi}, D. \okovi}, *Matemati~ki modeli u fizici i tehnicu*, "Nau~na knjiga", Beograd, 1966.

- [5] Р. Ачковски, *Еден брз и ефикасен алгоритам за решавање на равенката на состојбата*, pp. 6–17, Год. зборник на трудови на Електротехничкиот факултет во Скопје, бр. 5/1987, Скопје, 1987.

Пасков Цветан, дипл. ел. инж., "ИНВОД" – Скопје

ГРАВИТАЦИОНИ РАСПОНИ И ДОЛЖИНА НА ЛАНЧАНИЦА ВО РАСПОН

КРАТКА СОДРЖИНА

При проектирањето на надземни водови се наметнува потреба за пресметување на гравитационите распони (лев и десен гравитационен распон) и должината на ланчаницата во распон.

Гравитационите распони се потребни за пресметување на вертикалните компоненти на силите за употребените столбови, како и за пресметување на напрегањето на употребените јажиња (проводници и заштитни јажиња) во точките на обесување.

Должината на ланчаница во распон е потребна за пресметување на потребната должина а со тоа и потребната тежина на јажиња во затезното поле за набавка и монтажа.

Во овој труд е обработена постапка и прикажан алгоритам за компјутерско пресметување на гравитационите распони, како и пресметување на должина на ланчаница во распон, со точност која ги задоволува потребите во проектирањето за водови со напонско ниво до 400kV.

Дадениот алгоритам е прилагоден за пресметување со математички ориентиран софтвер.

SUMMARY

A simple algorithm for solving the gravitation spans (left and right gravitation span), and also the length of the chain when designing an overhead transmission line is presented in this article.

The gravitation spans are needed for solving the vertical components of strengths of the used towers, and also for solving the tension of the used wires (conductors and earth wires) in the hanging spots.

The length of the chain is needed for solving the optimal length and weight of the earth wires.

Клучни зборови: Проектирање на надземни водови, гравитационен распон, должина на ланчаница.

1. ВОВЕД

При проектирањето на надземните водови многу важна улога има и пресметувањето на гравитационите распони (лев и десен) за секое столбно место, како и пресметувањето на должината на јажињата (проводници и заштитни јажиња) во затезното поле.

2. ГРАВИТАЦИОНИ РАСПОНИ

Гравитационите распони представуваат величини кои на индиректен начин ги оптоваруваат столбовите и јажињата на водот. Столбот го оптоваруваат со вертикални сили, додека јажињата преку тоталните распони ги напрегаат во точките на обесување.

Со точно искажани величини за гравитационите распони (лев и десен) на столните места, може да се врши контрола на вертикалните оптоварувања на столбовите како и контрола на напрегањата на јажињата во точките на обесување за разни случаи на оптоварување и разни температури.

3. ДОЛЖИНА НА ЛАНЧАНИЦА

Должина на ланчаница во распон претставува точна математичка должина на јажето во простор од која треба да произлезе потребната должина на јажиња во затезното поле за набавка и монтажа.

Точната пресметка на должина, а со тоа и тежина на јажињата во Главниот проект значително влијае на точната пресметка на цена на чинење за изградба на водот.

Со точни пресметани должини на ланчаници во распони се добива потребната точна должина а со тоа и точна тежина на јажињата во затезни полиња за набавка и монтажа.

4. ПОСТАПКА И АЛГОРИТАМ ЗА ПРЕСМЕТКА

За пресметка на гравитационите распони како и на должината на ланчаницата, го посматраме стварниот распон во простор со своите точки на обесување, нивната висинска разлика и хоризонталната проекција на распонот, така наречен распон помеѓу столбови. Од друга страна мора да се земат во рачун механичките карактеристики на употребеното јаже, како и неговото напрегање во разни случаи на оптоварување и разни температури.

5. РАВЕНКА НА СОСТОЈБАТА

Равенката на состојбата преку која ќе се пресмета напрегањето на јажето како функција од температурата ја сведуваме во облик на полином од трет ред што овозможува нејзино едноставно пресметување со помош на метода на итерација. Така сведена го добива следниот облик:

$$f(\sigma) = \sigma^3 + B \cdot \sigma^2 + D \quad (1)$$

каде се:

$$B = \frac{\gamma_{du}^2 \cdot a_i^2}{24 \cdot \sigma_m^2} \cdot E - \sigma_m + \alpha \cdot E \cdot (t_x + 5) \quad (2)$$

$$D = -\gamma_x^2 \cdot a_i^2 \cdot \frac{E}{24} \quad (3)$$

Почетната вредност σ_x во првата итерација на непознатото напрегање σ ќе биде секогаш доволно блиску до бараното решение ако се усвои:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_m}{2}. \quad (4)$$

Карактеристична е вредноста на специфичната тежина на јажето γ_V . Таа е дефинирана како:

$$\gamma_x = \gamma_V = \frac{G_V}{q_s}. \quad (5)$$

и со неа се оперира за сите состојби, освен за состојбата при $t_x = -5^\circ\text{C}$ со зимски додатен товар. За состојбата при температурата $t_x = -5^\circ\text{C}$ со зимски додатен товар се зема:

$$\gamma_x = \gamma_{du} = \gamma_V + DT \cdot 0,18 \cdot \frac{\sqrt{d}}{q_s}. \quad (6)$$

Во релациите (1) ... (6) како и во релациите што следат, одделните величини го имаат следното значење:

G_V тежина на јажето по единица должина;

q_s вкупен пресек на јажето;

d дијаметар на јажето;

γ_V сопствена специфична тежина на јажето;

γ_{du} специфична тежина на јажето со зимски додатен товар;

α температурен коефициент на линеарно издолжување јажето;

E модул на еластичност на јажето;

σ_m - максимално работно напрегање (хоризонтална компонента) на јажето;

DT коефициент на нормален зимски додатен товар;

a_i идеален распон на затезното поле;

a_n распон помеѓу столбовите;

t_x температура при која се третира јажето во распон;

x_1 стационажа на првиот столб во посматраниот распон;

k_1 кота на обесување на јажето на првиот столб во посматраниот распон;

x_2 стационажа на вториот столб во посматраниот распон;

k_2 кота на обесување на јажето на вториот столб во посматраниот распон.

Со внесување на конкретните величини за горните коефициенти и параметри, полиномот од трет ред го решаваме со итеративна постапка и на тој начин ја добиваме величината на хоризонталната компонента на напрегањето на јажето σ_{tx} за температура t_x , како реално и позитивно решение.

6. РАВЕНКА НА ЛАНЧАНИЦА

За да можеме да го третираме јажето во распон како физичка величина, ќе треба да ја поставиме равенката на ланчаница како хиперболна функција која поминува низ две точки на обесување.

Посматрајќи ги распоните посебно во затезни полиња, каде секое затезно поле е поставено во правец без скршнување, просторниот проблем на третирање го сведуваме за решавање во рамнина.

За добивање на гравитационите распони потребно е да се пресметаат координатите на најниската точка на ланчаницата, означена со забец во надолжниот профил. За распонот a_n , овие координати ќе ги означиме како:

x_m стационажа на најниската точка на ланчаницата

k_m кота на најниската точка на ланчаницата

Овие вредности ќе ги добиеме ако предходно ја пресметаме стационажата на тоталниот распон десно од првиот столб преку следната прилагодена равенка на ланчаницата:

$$f(x_t) = (k_2 - k_1) - (x_2 - x_t) \cdot A - L \cdot [\text{ch}(\beta_1) - \text{ch} \frac{2 \cdot (x_t - x_1) - a_n}{2L}]. \quad (7)$$

Во равенката (7) се воведни величините A , L и β_1 , дефинирани на следниот начин:

$$A = \frac{k_2 - k_1}{a_n}; \quad L = \frac{\sigma_{tx}}{\gamma_x}; \quad \beta_1 = \frac{a_n}{2L}. \quad (8)$$

Вредноста на почетната итерација која ќе биде секогаш доволно блиску до бараното решение x_{1t} е дефинираме како:

$$x_t = x_2 - \frac{2 \cdot (k_2 - k_1)}{a_n \cdot \gamma_x}. \quad (9)$$

Стационажата на најниската точка на ланчаницата е дефинираме како:

$$x_m = \frac{x_1 + x_{1t}}{2}. \quad (10)$$

Гравитациониот распон десно од првиот столб во распон го дефинираме како:

$$agr_{1d} = x_m - x_1. \quad (11)$$

Гравитациониот распон лево од вториот столб во распон го дефинираме како:

$$agr_{2d} = a_n - agr_{1d}. \quad (12)$$

Котата k_m на најниската точка на ланчаницата во распонот a_n ја пресметуваме преку равенката на ланчаница средена во погоден облик:

$$k_m = k_2 - (x_2 - x_m) \cdot A - L \cdot [\operatorname{ch}\beta_1 - \operatorname{ch} \frac{2 \cdot (x_m - x_1) - a_n}{2L}]. \quad (13)$$

На крај, должината на ланчаницата во распон помеѓу столбовите ја пресметуваме како:

$$L = \sqrt{(2L \cdot \operatorname{sh}\beta_1)^2 + (k_2 - k_1)^2}. \quad (14)$$

7. ЗАКЛУЧОК

Досегашното прикажување на гравитационите распони во Главни проекти за надземни водови се темели во главно на графичко отчитување од надолжните профили дадени со распоред на столбови. Ваков начин на отчитување дава можност за грешки.

Во однос на должината на јажињата во главниот проект за набавка и монтажа, досегашната вобичаена пракса за пресметка се базира на должината на хоризонталната проекција зголемена во просек за приближно 3%.

Досега, услов за точна пресметка на должина на јажиња по затезни полиња наметнува употреба на заштитни јажиња со оптички влакна (оптички јажиња).

Во предметниот труд е разработена и прикажана постапка и алгоритам за брзо и точно компјутерско пресметување на гравитационите распони како и на стварните должини на јажињата за Проект.

Компјутерската пресметка на должините кажува дека зголемувањето на должината на јажињата условено од присуство на провеси као и присуство на кос терен, во однос на хоризонталната проекција на должина и во просек, тоа не ја надминува вредноста од 1%.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 кВ до 400 кВ (Сл. лист на СФРЈ бр. 65/1988).
2. Николај Генков, *Механичка часѝ на елекѝрически мрежи*, Софија 1974.
3. Главен проект на ДВ 400 кV "Битола - Скопје 4".
4. Анте Чурлин, *Програмски алаѝи у маѝематѝици*, Београд 1990.

Пецо Трифунов ел. инж
РЕК “БИТОЛА” - БИТОЛА

**400 кВ ДАЛНОВОД “БИТОЛА 2 -- СКОПЈЕ 4”
ПРОБЛЕМАТИКА И ИСКУСТВА ВО ИЗВЕДУВАЊЕ НА
ЕЛ. МОНТАЖНИ РАБОТИ**

СОДЖИНА:

Во рефератот се изнесени проблематиката и искуствата стекнати во “ЕМО-Охрид” за време на електромонтажните работи. Искуствата стекнати во градбата на ваков вид објекти во нашата држава како и во рамките на поранешна СФРЈ беа со пауза од цели 14 год. Како изведувачи на овој значаен проект финансиран од Европската Банка за обнова и развој од Лондон, требаше да се ангажираат стручни екипи од повеќе профили способни да направат организација за подготовка, про-изводство и монтажа на целокупната опрема.

За оваа цел формирана е организациона структура како организационен и управувачки систем. За успешна реализација на ел.монтажните работи(EMR) извршена е модификација на повеќе монтажни линиски капацитети.

АБСТРАКТ:

In this article are presented problems and experiences gained in “ЕМО–ОHRID” during construction of HV transmission lines. Experiences gained in construction of such kind of object in our state as in the former SFRJ were with a pause of 14 years. As constructors of this very important project financed by European Bank for Renewal and Development from London it was necessary to engage multi profile specialists teams able to perform organization of preparing, production, erection, setting-up in operation and commissioning of the equipment.

For this purpose was formed organizational structure as organizational and managing system. Successful realization of construction works (EMR) urged modifications on more line capacities.

1. **ВОВЕД**

До пред изградбата на 400 кВ далноводот “Битола 2 - Скопје 4“, далноводната мрежа од ова напонско ниво беше изградена во рамките на поранешна СФРЈ. Мре-жата во сегашниот Електроенергетски систем (ЕЕС) има радиалнотранзиентен карактер во правец Север-југ. Со изградбата на Рударскоенергетскиот комбинат (РЕК) Битола се изгради трафостаницата ТС 400/110 кВ Битола 2 и далноводот од Битола 2 до ТС 400/110 кВ Дуброво до Неготино. Во редовна работа беа пуштени со пуштањето на првиот Блок 1982 год. Покасно изградените два енергетски капацитети Блок 2 и Блок 3 останаа поврзани само со еден далновод.

Далноводите како големи транспортни системи за пренос на електрична енергија се пространи објекти изложени на природни влијанија кои секогаш негативно се одразуваат врз нивното доверливо работење. Произлегоа проблем да при секој испад на водот редовно ги исклучуваше од работа двата или трите Блока во РЕК-Битола. Се јави потреба од перманентно пратење, регистрирање и анализирање на појавените дефекти. Се наметна сериозен проблем, дојде во прашање снабдувањето на потрошувачите со електрична енергија како и управувањето на ЕЕС во државата. За оваа цел Електростопанство на Македонија вложи големи напори да со свои стручни лица изработи анализи, студии кои би допринеле за ефикасно решавање на доверливото работење на термоелектраните во РЕК-Битола. Како резултат на извршените анализи и студии произлегоа констатација дека, далноводот има специфична врска во ЕЕС на Македонија и неможе понатака да остане сам како единствена врска со термоелектраните во РЕК -Битола.

За поголема сигурност и оперативност на системот, најодговорните лица на Ј.П.Електростопанство на Македонија, донесоа одлука за проширување на мрежата со 110 и 400 кВ напонско ново во правец Исток-Запад со цел ЕЕС на нашата држава би остварувал пошироки интерконективни врски со соседните ЕЕС на нашите со-седи, а преку нивните ЕЕС и со западноевропската интерконекција УЦПТЕ.

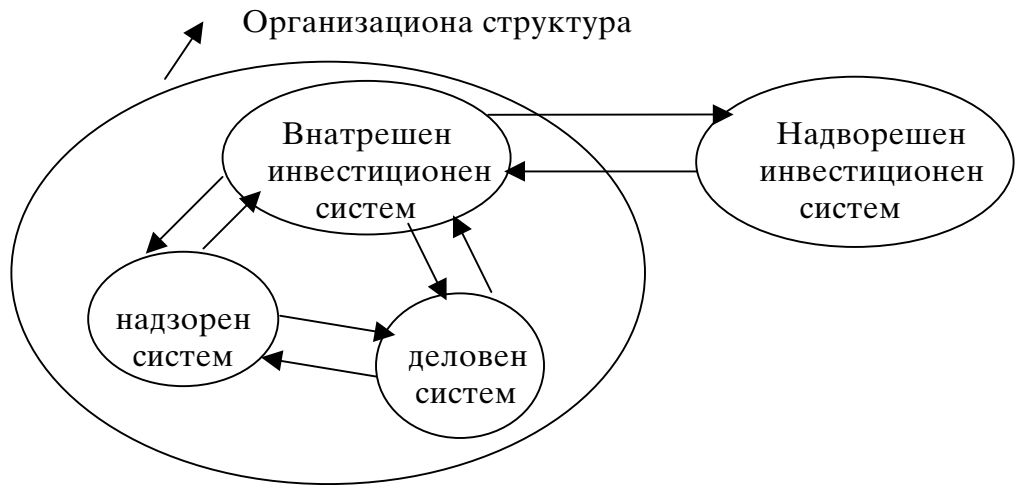
Како прва фаза беше изградбата на 400 кВ далновод од ТС Битола 2-ТС Скопје 4 кои беше кредитно подржан од Европската Банка за обнова и развој.

2. ФОРМИРАЊЕ НА ОРГАНИЗАЦИОНА СТРУКТУРА КАКО ОРГАНИЗАЦИОНЕН И УПРАВУВАЧКИ СИСТЕМ

За ефикасно изведување на целокупниот инвестиционен проект во рамките на системот за изградба на далноводот 400 кВ “ Битола 2-Скопје 4 “ потребно беше да се формира функционален оперативен систем кои ќе овозможи: квантитативно, квалитативна, структурална и функционална усогласеност се во склад со економските принципи, како технички спроводлива, економски рационална и општествено оправдана. Организационата структура како севкупен систем представува множество од системи на инвестиционен, надзорен и деловен систем, кои во себе формираат под системи како делови на организационата структура, кои меѓусебно се поврзани и зависни во своето дејствување се со единствена цел остварување на поставените цели.

Под системите внатрешно вршат групирање на активностите, формираат организациони единици, групи, систем на односи, комуникации кои ќе обезбедат поврзување во единствен систем како последен чекор во формирањето и

изградбата на организационата структура како организационен и управувачки систем.



Сл. 1. графички приказ на организационата структура

3. МОДИФИКАЦИЈА НА МОНТАЖНИ ЛИНИСКИ КАПАЦИТЕТИ

Организацијата како научна дисциплина пратејќи го развојот на техничките и технолошките средства, ствара погодности за развој на економската вредност, со примена на нови трансформаторски функции во оперативните системи, изнаоѓајќи се нови развојни решенија за зголемување продуктивноста и економичноста, во взаемните врски со производните и финансиските системи.

Целокупната динамика на активностите за градба на воздушните далноводи спаѓа во отворени динамички линиски системи и може да се подели на две основни монтажни технолошки линии (капацитети):

- Градежни работи
- Ел. монтажни работи

Изборот на соодветен вид организација значеше пред се совладување на зголемена продуктивност, смалени трошоци и зголемен квалитет.

Електромонтажните работи како и сите други вршат интерно групирање на активностите, со што израснуваат во збир од повеќе зафати, кои секој за себе пред-ставува орган на извршување како посебно работно место во отворениот динамички линиски систем на технолошки редослед на операции, кои се делат на две групи:

- Примарни (првични) или ударни кои се взаемно тесно поврзани во технолошкиот редослед во линискиот систем за влечење јаже.
- Пренос на изолатори и котурачи по столбни места,
- Составување и врзување на изолаторски вериги,
- Влечење на сајла по траса,
- Утовар, растовар на котури по аголно затезни столбови,
- Транспорт на машина и кочница по аголно затезни столбови,
- Машинско влечење на јаже,
- Компресионо наставување на проводниците (биговање),
- Визирање на проводниците (одредување повес во ЗП),
- Затигање на проводниците,

- Поставување на носни стегалки (клемовање),
- Секундарни (вторични) кои не делуваат во линискиот систем за влечење на јаже, но се од голема важност за навреме планираат и завршат како би се запазиле севкупните ограничувања.

- Монтажа на еластични растојници,
- Составување и монтажа мостови на затезни столбови,
- Собирање на заостанат материјал по траса,
- Завршни работи (поправки),

Во самиот почеток на извршување на ЕМР се појавија и првите пречки кои аплицираа на примена нови парадигми кај примарните зафати. Внесените модификации во линискиот систем за влечење јаже, поставија нови меѓусебни односи: зголемена одговорност во извршување на секоидневните сложени задачи, се намали времето на извршување кај повеќе монтажни линиски капацитети, се зголеми мобилноста и ангажираноста кај севкупните меѓусебни односи и (директните извршители)

3.1 **Внесени модификации :**

1. Непрекинато градилиште,
2. Подвижно градилиште,
3. Решение за врзување на “V” ланецот,
4. Решение за употреба на контра котурача,
5. Решение за одеднаш влечење на фазите,
6. Решение за начинот на затегнување на проводниците,

3.1.1. **Непрекинато градилиште**

Активностите во организацијата на целосната динамика за градба на далноводот беше во проект со четири класични градилишта и тоа во Битола, Прилеп, Велес и Скопје.

Со влечење јаже на далноводот се отпочна на 07.05.1996 гпд. на затезното поле (ЗП) од столбното место (СМ) бр.8 до СМ бр.17. По првите 15 дена работа по моделот на продолженото градилиште требаше да се прекинат сите активности на ел.монтажните зафати (ЕМЗ). Целата група требаше да користи 2-3 дена полумесечен или крајно месечен одмор. Во овој момент се јави потребата од непрекинатото градилиште. Работите не се прекинаа, групата ја поделивме на половина со тоа што непрекинато продолжија ЕМЗ со половина група, додека другата половина го користеше полумесечниот или крајномесечниот одмор и се во круг до заврше-токот на ЕМР. Ако направиме диференцијација на времето ќе забележиме дека по пете месеци колку траеа ЕМЗ на далноводот се појавија повеќе видови на време т.е. повеќе видови на организациски структури во системот на односи кај деловниот си-стем во организационата структура. Значи имаме повеќе времиња т.е. повеќе видо-ви на организациони градилишта.Како на пример:

Време на класично градилиште за нормално работно време (класично градилиште),

Време на продолжено градилиште за продолжено време (продолжено градилиште),

Севкупно време на продолжено градилиште,

Време на непрекинато градилиште за нормално работно време,

Време на непрекинато градилиште за продолжено работно време,

Севкупно време на непрекинато градилиште со продолжено работно време,

Време на класично градилиште за нормално работно време

$$T_{кГ} = (D \times T) \times A = (107 \times 8) \times 52 = 44512 \text{ чов/час} \quad (1)$$

$T_{кГ}$ - вкупно време во класичното градилиште,

D - време траење во работни денови,

$T = 8$ ч нормално работно време за еден ден,

A - број на работници,

Време на продолжено градилиште за продолжено време

(продолжено градилиште)

$$T_{пГ} = (D \times T_1) \times A = (D \times T/2) \times A = (107 \times 4) \times 52 = 22256 \text{ чов/час} \quad (2)$$

$T_1 = 4$ ч $= T/2$ продолжено време на работа,

Севкупно време на продолжено градилиште за 5 и 7 месеци

$$T_{свпГ} = (D \times T_2) \times A = (D \times 3/2T) \times A = (107 \times 12) \times 52 = 66768 \text{ чов/час} \quad (3)$$

$$T_{свпГ} = (D \times T_2) \times A = (D \times 3/2T) \times A = (152 \times 12) \times 52 = 94848 \text{ чов/час}$$

$T_2 = 12$ ч $= T + T_1 = T + T/2 = 3/2T$ целокупно работно време во еден ден

Време на непрекинатото градилиште за нормално работно време

$$T_{нГнрв} = (D_1 \times T) \times A_1 = (38 \times 8) \times 26 = 7904 \text{ чов/час} \quad (4)$$

D_1 - време траење во работни денови на непрекинатото градилиште

A_1 - број на работници на половината група

Време на непрекинатото градилиште за продолжено работно време

$$T_{нГпрв} = (D_1 \times T_1) \times A_1 = (D_1 \times T/2) \times A_1 = (38 \times 4) \times 26 = 3952 \text{ чов/час} \quad (5)$$

Севкупно време на непрекинатото градилиште со продолжено работно време

$$T_{свнГспрв} = T_{свпГ} + T_{нГнрв} + T_{нГпрв} = (D \times T_2) \times A + (D_1 \times T) \times A_1 + (D_1 \times T_1) \times A_1 = AT_2(D + D_1/2) = 3/2AT(D + D_1/2) = 3/2 \times 52 \times 8(107 + 38/2) = 624 \times 126 = 78624 \text{ чов/час} \quad (6)$$

За да извршиме компаративност на севкупниот процес со севкупното време од непрекинатото градилиште и градилиштето со продолжено време, ќе направиме општа анализа на времето во еден зафат во една монтажна линија кај класичното градилиште. За да извршиме посебно пресметнување на времето за секоја монтажна линија потребно е составување на повеќе диференцијални променливи што во секој случај е институционален зафат кој опфаќа подолг период на испитување.

Прецизното одредување на времетраењето како и потрошените норма чов/час на зафатот условено е со точен опис на предвидени постапки за нивно извршување, при што треба да се земе во предвид бројот и структурата на директните извршители ангажирани во реализацијата на самиот зафат, како и бројот на машините, алатите и помошните средства со кои се располага.

Зафатите како мисловен процес во монтажната линија се збир од повеќе операции која секоја за себе има свое време на извршување. Овој збир на времиња го дефинира времетраењето на зафатот кое време е нормирано. Сите времиња на извршување на зафатите во една монтажна линија како на пр. (составување и монтажа на изланици) го дефинираат времетраењето на монтажната линија. Сумата(збирот) на сите времиња од монтажните линии го дефинираат времето на извршување на ЕМЗ, кое ќе го забележиме како Тиз. Времето за завршување на проектот беше дадено во временска рамка од 18м, кое однапред е одредено од повисоки органи. Во интервалот од последните 7 месеци се

изведуваа и ЕМЗ кое време ќе го бележиме со T_k , како крајно време на завршување на ЕМЗ, а со тоа и на целокупниот проект.

- $T_{заф1}$ теоретско време или време траење, нормирано време за еден зафат,
- $T_{опр}$ време нормирано за една операција во зафатот,
- $T_{заф1из}$ време за извршување на зафатот,
- $T_{изМЛ1}$ време на извршување на една монтажна линија,
- $T_{из}$ време на извршување на сите монтажни линии,
- $T_{заф1нч}$ време за извршување на зафатот (потрошени норма **чов/час**),
- T_k временска рамка за завршување на ел.монтажните зафати,

$$T_{заф1} = T_{опр1} + T_{опр2} + \dots + T_{опрN} = \sum_{n=1}^N T_{опрn} = T_{o1} \quad (7)$$

$$T_{заф1из} = T_{оприз1} + T_{оприз2} + \dots + T_{опризN} = \sum_{n=1}^N T_{опризn} \quad (8)$$

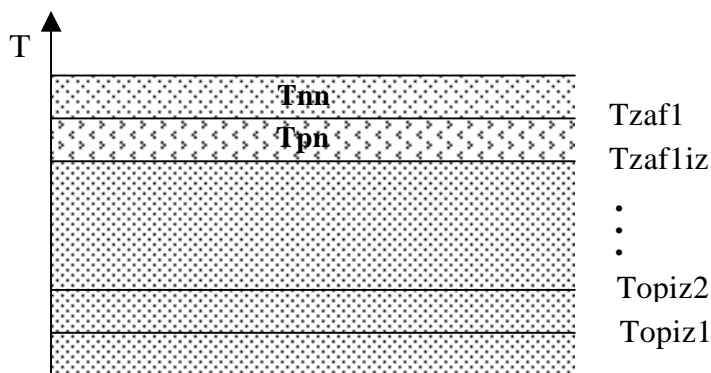
$$T_{заф1из} = T_{o1} \pm (+T_{nn}, - T_{pn}) \quad (9)$$

$$T_{заф1нч} = T_{o1} \times A2 \pm (+T_{nn}, - T_{pn}) \quad (10)$$

$A2$ - број на работници кои се вклучени во извршување на зафатот.

T_{nn} - разлика на време над нормираното

T_{pn} - разлика на време под нормираното



Сл. 2. Графички приказ на времето за еден зафат во класичното градилиште

$T_{изМЛ1} = \sum_{n=1}^N T_{заф1из} = \sum_{n=1}^N T_{o1} \pm (+ \sum_{n=1}^N T_{nn}, - \sum_{n=1}^N T_{pn})$ Како T_{o1} во линискиот процес е константно (нормирано) за секој зафат, сумата од тие времиња е константа па

можеме да напишеме. $T_{изМЛ1} = N T_{o1} \pm (+ \sum_{n=1}^N T_{nn}, - \sum_{n=1}^N T_{pn})$ овој израз може да се

трансформира во два изрази како $T_{изМЛ1} = N T_{o1} + \sum_{n=1}^N T_{nn}$ Ако имаме за T_{pn}

рманентно повторување на ова време во монтажната линија, зборуваме за стихијност во внатрешните меѓусебни односи во организационата структура. И како

$$T_{изМЛ1} = N T_{o1} - \sum_{n=1}^N T_{pn}$$

Спротивно, Ако имаме за T_{pn} перманентно повторување на ова време во монтажната линија, со тенденција на постојано зголемување, зборуваме за добри, хармонично изградени меѓусебни односи во системот на организационата структура, спремни за совладување и за најтешки работни задачи. Како што беше случај со нашата задача. Вкупното време на извршување на ЕМЗ го забележивме со $T_{из}$, а тоа е сума(збир) од времињата на сите монтажни линии па може да запишеме:

$$T_{из} = T_{изМЛ1} + T_{изМЛ2} + \dots + T_{изМЛn} = \sum_{n=1}^N T_{из} МЛn = 5(\text{месеци})$$

Додека вкупното време на потрошени норма **чов/час** за една монтажна линија ќе го изразиме преку изразот: $T_{изМЛ1nч} = N T_{o1} \times A2 - \sum_{n=1}^N T_{pn}$, а за вкупно потрошените норма **чов/час** на сите монтажни линии преку изразот

$$T_{изнч} = T_{изМЛ1nч} + T_{изМЛ2nч} + \dots + T_{изМЛnnч} = \sum_{n=1}^N T_{из} МЛnч$$

Горната анализа направена од аспект на времето кај класичното градилиште со нормално работно време, применета во нашиот случај за времето на извршување норма(**чов/час**) на ЕМЗ со Севкупното време на непрекинато градилиште со продолжено работно време, ќе добиеме израз за времето на извршување на ЕМР.
 $T_{изнч} = T_{свнГспрв} = T_{свпГ} + T_{нГнрв} + T_{нГпрв} = 3/2 AT(D + D1/2) = 78624 \text{ чов/час}$
 кое одговара на должина $K = 84.792 \text{ км}$ од П(пртал) во ТС БИТОЛА 2 до СМ бр.227

$S_o = T_{изнч} / K$ потрошени норма чов/час по должен километар $= 927 \text{ час/км}$ како (11)

$T_{из} < T_{к}$.

Оптимализација на линискиот процес се добива кога имаме урамнотежување на монтажната линија т.е. $\min \sum_{n=1}^N T_{из} МЛn$, а тоа ќе биде задоволено ако $\sum_{n=1}^N T_{pn}$ биде во севкупниот линиски процес кај секоја монтажна линија (работно место) биде во секој случај најголемо.

Оптимализацијата на линискиот процес може да се анализира и од страната на губитокот на времето T_{pn} во монтажната линија која не доближува, кон нормираното време, а тоа е кога имаме сл. $T_{pn} = 0$. Кога престанува оптимализацијата да биде изразена со негативна продуктивнос и рентабилност и преминува во позитивна насока.

Во нашиот случај през целиот тек на линискиот процес, благодарение на примената на модификациите, решените имотно правните односи, разбирањето на други работни организации чии објекти се вкрстосуваа со далноводот, меѓусебни односи внатре во организационата структура, доведоа да през целото време разликата на времето под нормата биде најголемо.

Со право сега можеме да зборуваме за успешност во системот на организацијата во севкупната организациона структура и можеме да ги поставиме економските принципи за продуктивноста и рентабилноста во системот на организационата структура.

Продуктивноста како економски принцип е таква скаларна големина која е различно дефинирана од различни автори во индустриските системи. Како на пример некои ја дефинираат како однос помеѓу остварениот физички обем на производството Q и потрошениот тековен труд L , други пак како остварен број **НОРМА ЧАСОВИ НА РАБОТА** во одреден временски период, додека во

МЕНАЏМЕНТ на ИНДУСТРИСКИ СИСТЕМИ продуктивноста е дефинира како однос на ЕФЕК-ТИТЕ со ВЛОЖУВАЊАТА при што ЕФЕКТИТЕ го сочинуваат вкупниот број на остварени норма часови на работа за остварен обем на производство или услуги, додека ВЛОЖУВАЊАТА ја сочинуваат временската рамка потребна за нормално извршување на процесот на производство. Према тоа за продуктивноста можеме да пишеме.

$P = Q / L$ или во нашиот случај продуктивноста ќе ја изразиме со следниот математички модел.

$P = T_{из} / T_{к} < 1$ имаме позитивна продуктивност затоа што извршувањето на ЕМЗ е завршено пред утврдениот рок скоро за цели два месеци.

Во процесот на изведување на ЕМЗ за Далноводот 400кВ Битола 2 -Скопје 4 ние го користевме моделот на непрекинато градилиште со продолжено работно време.

Користејќи го за анализа повторно компаративниот модел кој најизразито ја покажува вредноста помеѓу непрекинатото градилиште и градилиштето со продо-лжено работно време можеме да кажеме дека: внесените модификации со својата заштеда на време, ја покажаа оправданоста во линискиот систем уште првиот месец на влечење јаже. По моделот на продолженото градилиште во текот на еден месец можеше да се извлече јаже од 11-12 км/м. Ние во првиот месец извлековме 17,772 км, вториот 15,140 км третиот 20,243 км што не остави впечаток да биде случаиност. Процентуално зголемување на времето од цели 17,76 % како и оптимализацијата на времето на извршување во зафатите доведе до зголемена продуктивност. Ако се земе просекот од 16,958 км/м за разлика од поранешниот просек од 11-12км/м продуктивноста ја зголемивме во км за 44,33 %. Разликата од 5,458 км/м \times 5 мес = 27,29 км претставува 2,37месеци повеќе влечење јаже по моделот на продолжено градилиште.

3.1.2. Подвижно градилиште

Подвижното градилиште како надградба за водење на современ процес во отворениот динамички линиски систем ја намена потребата врз начинот на планирањето, идентификацијата на слаби места, транспортот, чувањето на основниот и прирачниот алат вдолж трасата на далноводот. Створи основна база да се спази континуитетот на непрекинатото градилиште. Се постигна оптимално користење на монтажните линиски капацитети со минимално губење на време. Се создадоаа фи-зички услови за реализација на планираните одлуки. Тоа значеше органите на одлучување во деловниот систем го пренесоа управувањето со системот “човек - монтажен капацитет - околина” на органите на извршување(директни извршители). Органите на извршувањето одредени и постојани но под перманентна контрола за квалитет и квантитет станаа влијателни на слободно делување во линискиот систем.

Ефикасноста и постигнатите резултати од взаемната поврзанос помеѓу овие два модели на водење современ процес во линискиот систем се огледа кога во третиот месец извлечено е јаже од 20,243 км и тоа со менување на местоположбата од едно во друго градилиште на потезите од СМ 96 до СМ 128 потоа од П- до СМ 8 и од СМ 128 до СМ 147.

3.1.3. Решение за врзување на “V”ланец

Конструктивната изведба на средниот носив ланец вдолж целата трасата на далноводот беше во “V” изведба. Кај предходно изградените далноводи од ова напо-нско ниво овој ланец ретко беше употребуван.

Средниот “V” изолаторски ланец се јави како специфична монтажна единица во монтажната линија и во начи-нот за монтажа. Се правеа разни обиди да се најди рационално решение, кое ќе овозможи брзо, квалитетно и безбедно монтирање на изолаторскиот ланец. Еден од повеќето обиди беше парцијална монтажа, дел по дел, друг со помош на траверза прилично изработена направа што ја отежнуваше монтажата, ризикот во работата и времетраењето на монтажата. Се констатира кај првиот ланец дека се губи доста време. Се направи споредба на времетраењето на ДН из.ланец со “V” ланецот и забележивме дека монтажата на “V” ланецот трае два пати подолго од времето кај ДН ланци.

Од сите начини, монтажата со две котурачи на овесиштето така наречен “Делтоиден зафат” се покажа како најдобр. Начинот се состоеше во тоа што комплетно ланецот се составуваше на земја, потоа со две јажиња преку котурачи на овесните места од другата страна од столбното место со истите јажината се врзуваа на моторно витло, монтажата одеше брзо како да се монтира еден ДН ланец. Овај обид потоа се примени и на другите крајни фази (каде дозволуваше теренот) така што и кај овие ланци се скрати времетраењето на монтажата.

3.1.4. **Поставување на контра котурача**

Во процесот на примарните активности во линискиот систем на влечење јаже од голема важност е брзото откривање на слабите места и правовремено дејствување со ефикасна примена на соодветни технолошки операции, кои ќе го скратат времетраењето на активностите. Далноводот како простран линиски објект, кој ја прати географијата на теренот, кој изобилува со места каде треба посебно обрати внимание за да се постави контра котурачата. За таа цел раководителот на ЕМР како водач на линискиот процес, треба добро да го познава проектот и секогаш да е во тек со настаните на теренот, за да констатира кое место е место за употреба на контра котурача.

Овој зафат не преставува сложена функционална динамика. Може да се реши на повеќе начини и е технолошки оправдан. Предностите и маните кои произ-легуваат од контра котурачата се дијаметрално спротивни едни од други. Сите недостатоци кога нема да се постави контра котурачата се појавуваат како предности кога ќе се постави истата.

- Дава непречен континуитет на линискиот процес,
- Дава максимална искористеност на органите на извршување,
- Се зголемува брзината во линискиот процес,
- Се намалува опасноста врз работата на органите на извршување,
- Се намалува времето на затегање на полето,
- Се намалува ризикот за сигурност во работата.

3.1.5. **Решение за одеднаш влечење на фазите,**

Искуството во влечење јаже по стариот начин покажа дека искористеноста на монтажниот линиски капацитет во овој зафат од примарните активности е доста мала ако се влече и затега фаза по фаза во затезното поле.

Новината што ја применивме се состоеше во тоа што ги влечевме прво сите фази и громобранско јаже, а потоа вршевме затегање. Ова го изведувавме на тој начин, после извлечената прва фаза кога следи зафатот наставување со компресиони наставни спојници, Ние ја ангажиравме групата за монтажа на изолаторски вериги, додека групата ангажирана за влечење јаже го настави континуитетот на линискиот процес со останатите фази.

Ако вршевме расцепување на групата и од истата составевме група за наставување. Се јави проблем, додека едните наставуваат, другите да неможат непречено, квалитетно пратат и продолжат линискиот процес. Практичноста на овај зафат се покажа во непрекинатиот континуитет, максималната искористеност на времето во зафатот, како и добивката на сите предности опишани кај поставувањето на контра котурачата, со максимална заштеда на време.

Овој зафат бара поголемо обезбедување со портални столбови на прелазните места со вкрстувачките објекти како ПТТ, ЖТП, НН и ВН линии, патишта и други инфраструктурни објекти.

Наставувањето на проводниците е еден од макотрпните и посложени ЕМЗ, на кој треба посебно обрати внимание. Се работи за специфичен зафат кој се изведува во неприступачни терени, внимателно, полека треба да се изведува за да се постигнат бараните вредности за компресоната наставна спојница која треба да ги задоволи строгите критериуми од техничките нормативи за градба на надземни водови.

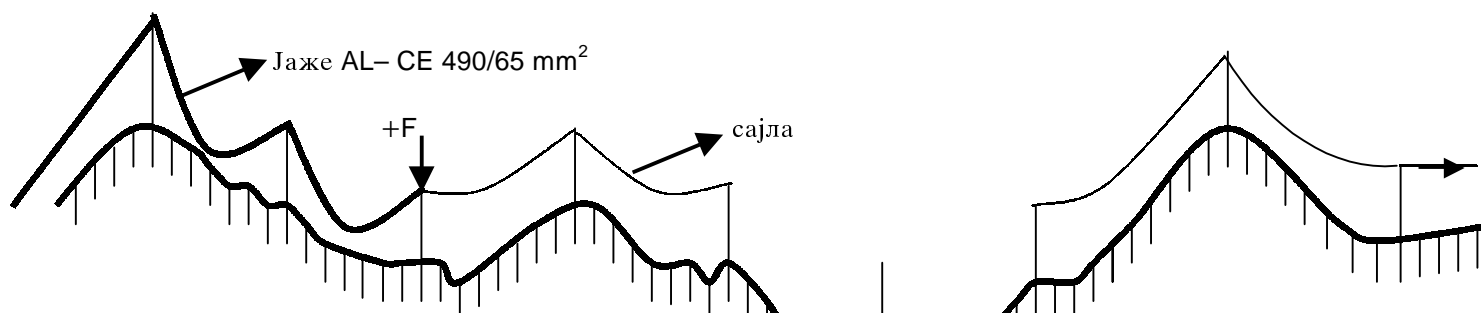
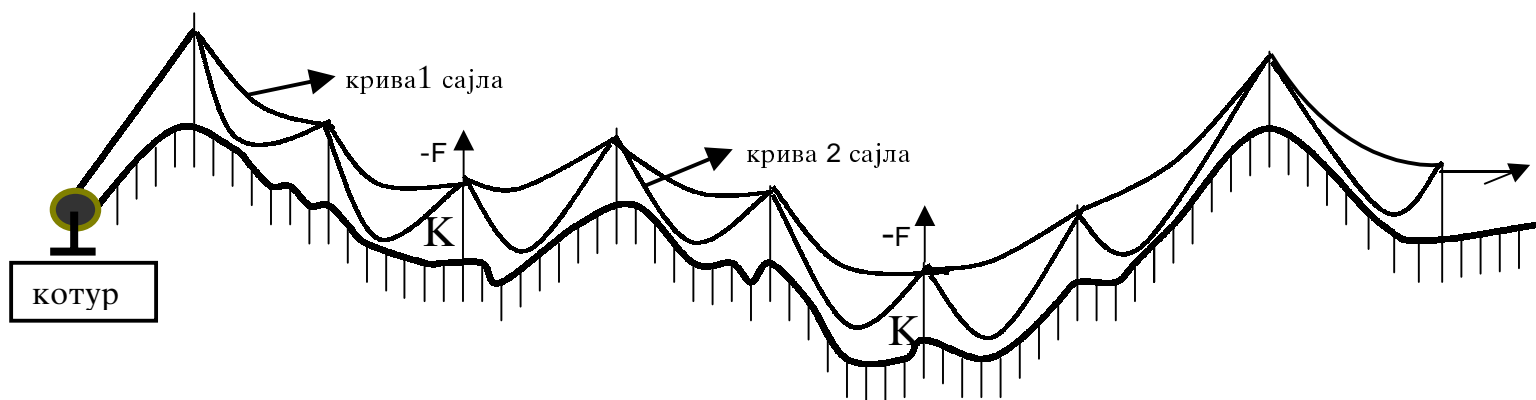
4. ЗАКЛУЧОК

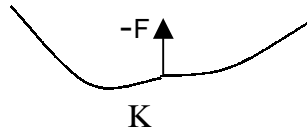
Електромонтажните зафати како последна алка и завршна фаза од ланецот на севкупните монтажни линиски капацитети, можат да се третираат и како филозофија за концепт на организација. Тие сами за себе и во себе како специфика кријат можности за откривање се нови и нови поефикасни линиски системи, со единствена цел зголемување на ефикасноста и економичното работење. Тие ја формираат основната структура на организациони и функционални компоненти и ја карактеризираат функционалната динамика на организацијата во динамичкиот линиски систем за влечење јаже.

За успешно функционирање на линискиот систем како дел од унијата на организационата структура, ние извршивме синхронизација на времето како основна комуникација на хармонично усогласени компоненти, без загуби на време во примарните и секундарните меѓусебни односи. Искуствата стекнати во градбата на ваков вид објекти бараше изнаоѓање и примена на нови парадигми, во севкупните линиски монтажни капацитети. Времето во просторот како основа на сите промени ја наметна неминовноста за создавање функционална динамика за остварување на се пократките рокови во севкупниот систем на односи. За оправданоста на внесените модификации несомнено зборуваат постигнатите резултати во запазување и скрапување на времето на градбата на целиот проект.

5. ЛИТЕРАТУРА

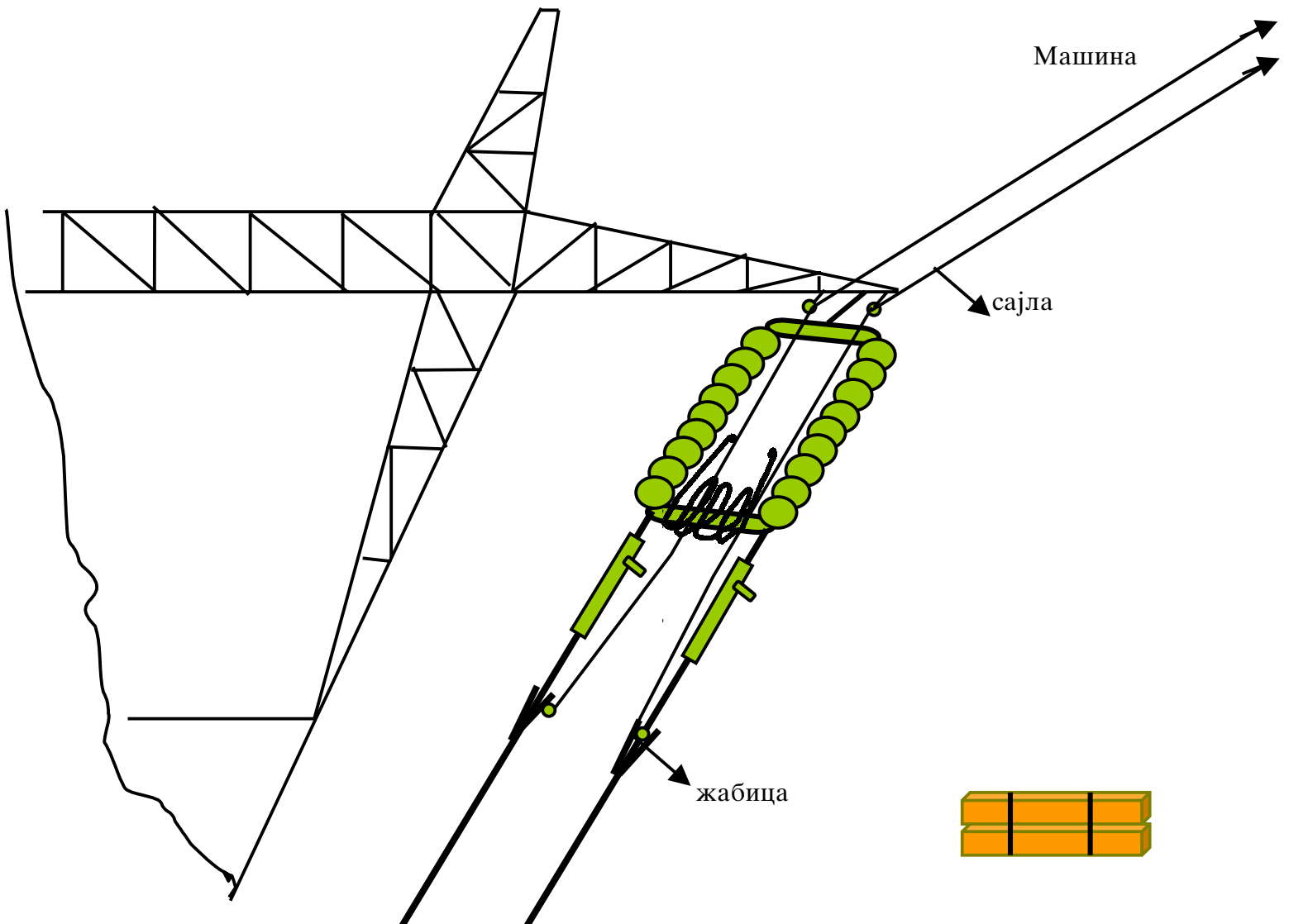
1. Проф.д-р Томе Јолевски, дип.инж: 1 МЕНАЏМЕНТ НА ИНДУСТРИСКИ СИСТЕМИ, БИТОЛА 1997 год. 2 ОРГАНИЗАЦИЈА НА [ОДРЖУВАЊЕТО](#) БИТОЛА 1993 год.
- 2 С.В. ГОРДАН: ТРАНСПОРТНИЕ И [ТАКЕЛАЖНИЕ](#) РАБОТИ НА ЛИНИЈАХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, МОСКВА 1991 год.
- 3 Jugoslovenski nacionalni komitet CIGRE, ZBORNİK, Jugoslovenskog strucnog savjetovanja elektroenergeticara Jugoslavije, OHRID 1972 god.
- 4 Проф.д-р Тодор Кралев, ОСНОВИ НА МЕНАЏМЕНТ





К - Место каде се јавува услов за поставување контра котурача,
F - Негативна сила пред да дојде јагето до местото К

Прилог кон точка 3.1.4
Поставување на контра котурача (објаснување)



→ AL-CE 490/65 mm²

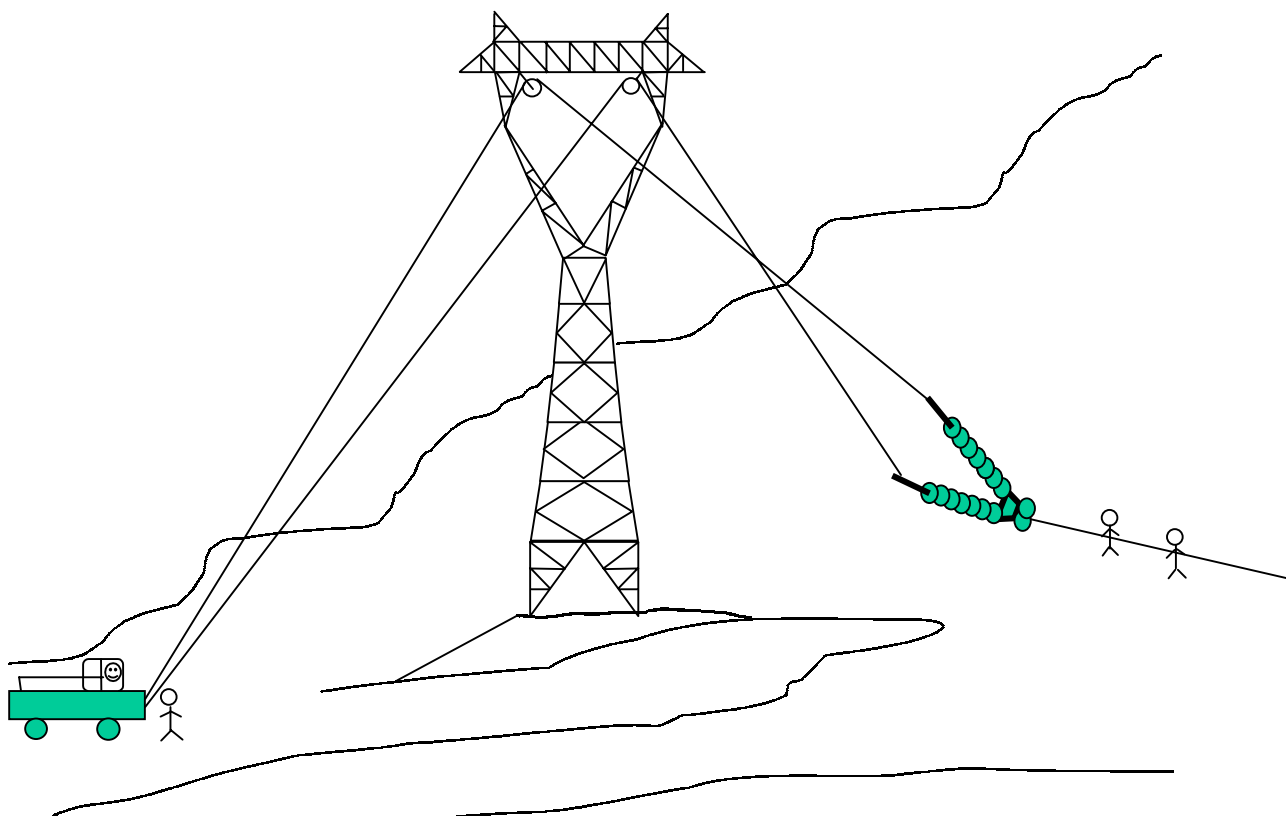
приправа



омче

Прилог кон точка 3.1.6

Начини на затегнување на фазите



**МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ
СИСТЕМИ–СИГРЕ, СКОПЈЕ**
ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО–СИГРЕ

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж, Електротехнички факултет – Скопје

**ГРАНИЧНИ РАСПОНИ НА ТИПСКИТЕ ЈАЖИЊА
И НИВНО ПРЕСМЕТУВАЊЕ**

КРАТКА СОДРЖИНА

Пресметувањето на егзактната вредност на граничниот распон е сврзано со решавање на систем нелинеарни трансцедентни алгебарски равенки од втор ред а добивањето на неговото решение во експлицитна форма е невозможно. За да се добие макар и приближно вредноста на граничниот распон, во практиката се прават определени упростувања и апроксимации кои овозможуваат определувањето на приближната вредност на граничниот распон да се сведе на решавање на една алгебарска равенка од IV ред. Така добиеното решение е пресметано со определена грешка чија големина е во низа случаи неприфатливо висока.

Во трудов е прикажана една нова, сосема ефикасна итеративна постапка која овозможува определување на вредноста на граничниот распон со однапред зададена точност. Со помош на неа се пресметани граничните распони на типските спроводници и јажиња според MKS стандардите за разни климатски услови и се прикажани во трудот.

SUMMARY

One of the technical conditions that should be unconditionally satisfied in overhead line design refers the value of conductor's mechanical stress in the points of suspension at the temperature of -5°C and the additional load equal to the so called "exceptional additional load". The check of this condition is usually performed in practice by introducing a mathematical value called "boundary span".

Calculation of the exact value of the boundary span leads to calculating a simultaneous system of two non-linear transcendental algebraic equations. By introducing some simplifications in the both non-linear equations of the system it is possible to get the approximate value of the boundary span. Checking the technical limitation of the value of the mechanical stress in conductors by comparing the total spans of the overhead line with the approximate value of the boundary span is in some cases quite unacceptable.

A new and efficient iterative procedure for solving the "exact" and/or approximate value of the boundary span is proposed in this paper. By means of this procedure are calculated and presented in the paper values of the boundary span for the most frequently used wires according to the MKS-standards, for various climate conditions.

Клучни зборови: Проектирање на надземни водови, напрегање, граничен распон.

1. ВОВЕД

Проектирањето на надземните водови претставува технолошки процес кој може да се подели во поголем број заемно независни фази. Во една од фазите, а тоа е практично во најважната, инженерот–проектант врши избор на типовите на столбовите, избор на нивните височини и избор на стојните места на столбовите, т.е. разместување на столбовите долж трасата од водот. При изборот и разместувањето на столбовите мора да се води сметка за низа ограничувања кои имаат техничка или економска природа, при што задоволувањето на техничките ограничувања мора да биде безусловно. Техничките услови што мораат притоа да бидат исполнети се прецизно дефинирани со соодветната техничка регулатива [1], [2], [3] и главно се состојат во задоволување на ограничувања кои се однесуваат на:

- височината на спроводниците над тлото;
- височината на спроводниците над разните пресечни објекти на тлото;
- силите кои дејствуваат врз столовите;
- силите (напрегањата) на кои се изложени спроводниците и заштитните јажиња, како во нормални, така и во исклучителни случаи, кога врз нив е нафатен нормален зимски додатен товар (ИЗДТ), односно исклучителен зимски додатен товар (ИЗДТ) [1].

Значи, едно од техничките ограничувања кое безусловно мора да биде исполнето кај надземните електроенергетски водови се однесува на напрегањето во спроводниците и јажињата во точките на обесување (зацврстување) при температура -5°C кога на спроводниците и јажињата е нафатен т.н. "исклучителен зимски додатен товар" (ИЗДТ) [1]. Вообичаено е контролата на ова ограничување да се врши преку проверка на големината на тоталните распони на надземниот вод, споредувајќи ја нивната големина со големината на т.н. граничен распон.

Во трудот станува збор за проверката на последниот вид ограничувања коишто се однесуваат на големината на напрегањата во спроводниците и јажињата во исклучителни зимски услови што се имаат кога температурата на спроводниците изнесува -5°C а на нив е нафатен исклучителен зимски додатен товар.

2. ГРАНИЧЕН РАСПОН

Според прописите [1], [2], вкупното напрегање σ' во спроводниците /јажињата во точките на зацврстување во исклучителни зимски услови (-5°C + ИЗДТ) не смее да ја надмине вредноста на т.н. "исклучително дозволено напрегање" σ_{di} . Самата вредност на исклучителното дозволено напрегање σ_{di} изнесува негде околу 75% од напрегањето на кинење на спроводниците /јажињата и е точно специфицирана за секој тип спроводник односно јаже.

За да не вршиме контрола на напрегањето во точките на зацврстување на спроводниците и јажињата во секој распон од надземниот вод по пресметковен пат, што претставува тешка и макотрпна работа во фазата на разместување на столбовите по должината на трасата, се служиме со т.н. "граничен распон" a_{gr} . Граничниот распон на спроводник односно јаже претставува воведена, чисто математичка, величина. По дефиниција тоа е оној хоризонтален распон кај кој

напрегањето во спроводникот/јажето во точките на зацврстување во исклучителни зимски услови е еднакво точно на исклучителното дозволено напрегање σ_{di} .

Од самата дефиниција на граничниот распон произлегува заклучокот дека со помош на него можат да се контролираат само хоризонталните распони. За да можеме да ги контролираме напрегањата во точките на зацврстување на спроводниците и јажињата и кај косите распони, секој кос распон ќе треба да го дополниме до "тоталниот распон" [3], [4], [5]. Според тоа, ако тоталниот распон a_T (а не вистинскиот распон a) на спроводникот/јажето е помал од граничниот распон a_{gr} , тогаш напрегањата во точките на зацврстување при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$ ќе бидат помали од дозволеното напрегање σ_{di} – и обратно. На тој начин, значи, може да се врши контрола на напрегањата на затегање во спроводниците и јажињата при појава на ИЗДТ без да се врши нивно директно пресметување. Овој начин на контрола на напрегањата во спроводниците и јажињата е особено практичен при проектирањето на надземните водови бидејќи тоталните распони можат лесно да се определуваат на самиот надолжен профил на трасата, по графички пат, со помош на т.н. "шаблон".

3. ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ГРАНИЧНИОТ РАСПОН

Кога станува збор за граничните распони, се работи за многу големи хоризонтални распони чија должина се мери со километри, или пак станува збор за коси распони со вообичаена должина но со многу големи агли на нагиб ψ , така што повторно соодветниот тотален распон ќе има должина од редот на километар па и повеќе.

За толку големи тотални распони, равенката на состојбата [6], [7], која ја дава врската помеѓу параметрите $(p_1, \sigma_1, \theta_1)$ и $(p_2, \sigma_2, \theta_2)$ на две различни состојби на спроводникот/јажето, го има следниот облик:

$$1 + \alpha \cdot (\theta_1 - \theta_2) + \frac{\frac{2\sigma_1^2}{p_1} \cdot \text{sh} \frac{p_1 \cdot a}{2\sigma_1} - \frac{2\sigma_2^2}{p_2} \cdot \text{sh} \frac{p_2 \cdot a}{2\sigma_2}}{a \cdot E} = \frac{\frac{\sigma_1}{p_1} \cdot \text{sh} \frac{p_1 \cdot a}{2\sigma_1}}{\frac{\sigma_2}{p_2} \cdot \text{sh} \frac{p_2 \cdot a}{2\sigma_2}} \quad (1)$$

Во релацијата (1) со σ_1 и σ_2 се означени хоризонталните компоненти на напрегањето во верижникот (ланчаницата) што го образува спроводникот/јажето во првата односно втората состојба – респективно, додека a е распонот т.е. хоризонталното растојание помеѓу точките на зацврстување. Останатите величини што фигурираат во релацијата (1) се дефинирани со листата на симболи во прилогот 7.

Во примената на релацијата (1) за пресметување на граничниот распон се тргнува од состојбата во која температурата на спроводникот изнесува $\theta_1 = -5^\circ\text{C}$, на спроводникот е нафатен нормален зимски додатен товар (ИЗДТ) и хоризонталната компонента на напрегањето σ_1 ја има вредноста на максималното дозволено работно напрегање σ_M , т.е. $\sigma_1 = \sigma_M$, (состојба бр. 1). Втора, т.е. "непозната" е состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$. Во оваа состојба непознати се хоризонталната компонента на напрегањето σ_x и напрегањето во точката на зацврстување σ' . Според тоа, параметрите на овие две состојби се:

$$\text{– состојба бр. 1: } p_1 = \bar{p} = p + \Delta p ; \theta_1 = -5^\circ\text{C} ; \sigma_1 = \sigma_M ; \quad (2)$$

$$- \text{состојба бр. 2: } p_2 = \bar{p} = p + \Delta \bar{p} ; \theta_2 = -5^\circ \text{C} ; \sigma_2 = \sigma_x . \quad (3)$$

Покрај релацијата (1), за разгледуваниот спроводник важи и следната релација [4]:

$$\sigma' = \sigma_2 \cdot \text{ch} \frac{p_2 \cdot a}{2\sigma_2} . \quad (4)$$

Релациите (1) и (4) се општи и важат секогаш, без никакви ограничувања. За нас е од интерес случајот кога распонот a е точно еднаков на граничниот распон a_{gr} . За тој случај, врз основа на релациите (1) и (4) ќе можеме да пишуваме:

$$1 + \frac{\frac{2\sigma_M^2}{p} \cdot \text{sh} \frac{\bar{p} \cdot a_{gr}}{2\sigma_M} - \frac{2\sigma_x^2}{\bar{p}} \cdot \text{sh} \frac{\bar{p} \cdot a_{gr}}{2\sigma_x}}{a_{gr} \cdot E} = \frac{\frac{\sigma_M}{p} \cdot \text{sh} \frac{\bar{p} \cdot a_{gr}}{2\sigma_M}}{\frac{\sigma_x}{\bar{p}} \cdot \text{sh} \frac{\bar{p} \cdot a_{gr}}{2\sigma_x}} , \quad (5)$$

$$\sigma' \equiv \sigma_{di} = \sigma_x \cdot \text{ch} \frac{\bar{p} \cdot a_{gr}}{2\sigma_x} . \quad (6)$$

Во равенките (5) и (6) единствени непознати се граничниот распон a_{gr} и хоризонталната компонента на напрегањето во спроводникот/јажето σ_x . Тие, значи, формираат симултан систем од две нелинеарни трансцедентни равенки со две непознати. Со нивното решавање се добива бараното решение, т.е. вредноста на граничниот распон a_{gr} .

Сега е јасно дека решението a_{gr} не може да се добие во експлицитна форма и дека вака поставената задача може да се реши единствено со помош на некоја нумерична постапка. Засега таква постапка која во општ случај ефикасно го решава овој проблем не е позната.

3.1. Постапка за определување на приближната вредност на граничниот распон

Проблемот на пресметка на граничниот распон во практиката се разрешува на тој начин што се врши "параболизација" на верижникот. Значи, во приближната постапка провесната крива на спроводникот/јажето наместо да се опишува со нејзиниот егзактен модел – хиперболата, ќе се опишува со една парабола. Со други зборови кажано, хиперболичните изрази во изразите (5) и (6) ќе се апроксимираат со следните релации:

$$\text{sh} x \approx x \quad (7 \text{ а})$$

и

$$\text{ch} x \approx 1 + \frac{x^2}{2} . \quad (7 \text{ б})$$

Кога провесната крива (верижникот) со помош на релацијата (7 б) ја апроксимираме со една парабола, може да се покаже (на пр. [7]) дека врската меѓу двете состојби "1" и "2" ќе добие многу поедноставен облик:

$$\frac{p^{-2} \cdot a_{gr}^2}{24\sigma_M^2} - \frac{p^{=2} \cdot a_{gr}^2}{24\sigma_x^2} = \frac{\sigma_M - \sigma_x}{E}. \quad (8)$$

Истовремено, применувајќи ја апроксимацијата (7 б) во релацијата (6) ќе се добие:

$$\sigma_{di} = \sigma_x \cdot \left(1 + \frac{p^{=2} \cdot a_{gr}^2}{8\sigma_x^2}\right), \quad (9)$$

од каде што следува:

$$a_{gr}^2 = \frac{8\sigma_x}{p^{=2}} \cdot (\sigma_{di} - \sigma_x). \quad (10)$$

Со замена на величината a_{gr}^2 од (9) во (8) се добива:

$$\frac{p^{-2} \cdot E}{3p \cdot \sigma_M^2} \cdot \sigma_x^4 - \left(1 + \frac{p^{-2} \cdot E \cdot \sigma_{di}}{3p \cdot \sigma_M^2}\right) \cdot \sigma_x^3 + \left(\sigma_M - \frac{E}{3}\right) \cdot \sigma_x^2 + \frac{E \cdot \sigma_{di}}{3} \cdot \sigma_x = 0. \quad (11)$$

Според тоа, непознатата σ_x може да се добие со решавање на алгебарска равенка од IV ред. Се разбира дека од сите 4 можни решенија што постојат во случајот нас нè интересира само она решение кое има физичка смисла, т.е. она решение σ_x за кое ќе биде исполнето:

$$0 < \sigma_x < \sigma_{di}. \quad (12)$$

По определувањето на вредноста σ_x на хоризонталната компонента на напрегањето на спроводникот/јажето во исклучителни зимски услови следи пресметка на гравитациониот распон a_{gr} со помош на релацијата (9), или уште подобро, со помош на релацијата (6). Од релацијата (6), на пример, следува:

$$a_{gr} = 2 \cdot \frac{\sigma_x}{p} \cdot \text{Ar ch } \frac{\sigma_{di}}{\sigma_x} = 2 \cdot \frac{\sigma_x}{p} \cdot \ln \frac{\frac{E}{H_x} \sigma_{di} + \sqrt{\frac{\sigma_{di}^2}{\sigma_x^2} - 1}}{\frac{E}{H_x}}. \quad (13)$$

Се разбира дека ваквиот начин на определување на граничниот распон е апроксимативен и тој дава решение со определена точност. Истражувањето на овој проблем доведе до констатацијата дека точноста на вака добиеното решение е сосема прифатлива за помалите тотални распони со должина до сса 500 m. За поголемите тотални распони грешката е поголема и веќе кај тоталните распони со должина над 1000 m таа станува забележлива, па дури и неприфатлива. Во некои случаи кои се карактеристични за косите распони со голема висинска разлика на точките на зацврстување и со големи зимски додатни товари, се случува апроксима-

тивниот метод да дава дури и бесмислени резултати [8]. Затоа иако во повеќето (т.е. мнозинството) случаи, апроксимативниот метод дава резултати со задоволителна точност, сепак определувањето на "точната" вредност на граничниот распон секако има свое практично значење.

3.2. Итеративна постапка за определување на точната вредност на граничниот распон

Вредноста на граничниот распон можеме да ја добиеме и на друг начин – со итеративна постапка. Во тој случај, при определувањето на почетното решение на хоризонталната компонента на напрегањето во спроводникот σ_x при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$, ќе ја искористиме особината на јажињата кај надземните водови, кога се работи за големи распони (каков што е граничниот распон), тие сосема малку да се издолжуваат под дејство на зголемениот зимски додатен товар. Со други зборови, ќе претпоставиме дека обликот на верижникот на спроводникот / јажето при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$ и обликот при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$ се практично исти, па според тоа и параметрите на верижниците на спроводникот \bar{c} и \bar{c} за состојбите при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$ и $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$ ќе бидат исто така исти, т.е:

$$\bar{c} = \frac{\sigma_M}{p} ; \quad \bar{c} = \frac{\sigma_x}{p} \quad \text{и} \quad \bar{c} \approx \bar{c},$$

од каде што се добива дека приближно важи:

$$\sigma_x \approx \sigma_M \cdot (\bar{p} / \bar{p}). \quad (14)$$

На тој начин ја добиваме приближната (почетната) вредност на непознатото напрегање σ_x . Потоа, знаејќи ја вредноста на напрегањето во спроводникот во точката на обесување σ_{di} , со помош на приближната вредност за σ_x и релацијата (13), ќе ја добиеме и почетната вредност на граничниот распон. Но вредноста на граничниот распон, добиена на тој начин, разбира се, не е сосема точна. Доколку сакаме да ја уточниме, ќе треба повеќекратно да ја примениме следната постапка.

За претходно пресметаната вредност на a_{gr} , со решавање на равенката на состојбата (5) по непознатата σ_x ќе ја пресметаме новата вредност на напрегањето σ_x . Притоа, како сосема погодно се покажало решавањето на трансцедентната равенка (5) да се врши со помош на Њутоновиот итеративен метод, при што почетната вредност σ_{xo} на непознатата σ_x ќе се добие како решение на "параболизираната" равенка на состојбата (8). Во [7] е покажано дека непознатата почетна вредност σ_{xo} во тој случај ќе се добие како решение на следната алгебарска равенка од III ред:

$$\sigma_{xo} + m = \frac{n^2}{\sigma_{xo}^2}, \quad (15)$$

каде што е:

$$m = \frac{p^{-2} \cdot a_{gr}^2}{24 \sigma_M^2} \cdot E - \sigma_M \quad \text{и} \quad n = \bar{p} \cdot a_{gr} \cdot \sqrt{\frac{E}{24}}. \quad (16)$$

Самото решавање на равенката (15) е можно на разни начини, а за две ефикасни нумерички постапки детално станува збор, на пример, во [7].

Потоа со замена на новопресметаната вредност за напрегањето σ_x во релацијата (13) се добива новата уточнета вредност на граничниот распон a_{gr} итн. Обично итеративната постапка за пресметување на граничниот распон е прилично конвергентна и дава решение со задоволителна точност само после неколку итерации.

4. ГРАНИЧНИ РАСПОНИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ИЗРАБОТЕНИ СПОРЕД MKS СТАНДАРДИТЕ

За илустрација на применливоста на предложената итеративна постапка, во трудот се извршени пресметки на граничните распони за некои од почесто употребените комбинирани алучел-јажиња што се произведуваат во нашата земја, согласно стандардот MKS N.C1.351. Пресметките се правени за повеќе вредности на максималното работно напрегање σ_M , во интервалот од 5 daN/mm² до 10 daN/mm². Слични пресметки се правени и за некои челични јажиња од типот \wedge III, според стандардот MKS N.C1.702, за вообичаените вредности на максималното работно напрегање σ_M во интервалот од 22 daN/mm² до 27 daN/mm².

Пресметките се вршени, согласно Правилникот [1], за 4 различни вредности на факторот на НЗДТ: $k_n = 1,0; 1,6; 2,5$ и $4,0$. Како што е вообичаено, за исклучителниот зимски додатен товар $\Delta \bar{p} = k_i \cdot \Delta p$ е усвоено дека неговата вредност е двојно, односно тројно поголема од вредноста на нормалниот зимски додатен товар, т.е. пресметките се вршени за вредности на факторот $k_i = 2$ и 3 .

Податоците во врска со механичките карактеристики на разгледуваните јажиња, како и вредностите на дозволените исклучителни напрегања за секое од нив се преземени од [1] и [4]. Пресметаните резултати се прикажани во табелите I и II. Овие табели можат да се користат при проектирањето на надземните водови.

5. ЗАКЛУЧОК

Контролата на големината на напрегањето во спроводниците и јажињата кај надземните водови во исклучители зимски услови кога температурата изнесува -5°C а на спроводниците односно јажињата е нафатен исклучителен зимски додатен товар во практиката се врши со помош на т.н. "граничен распон". Досегашниот начин за приближно определување на граничниот распон на спроводниците и јажињата кај надземните водови се темели врз идејата за "параболизација" на равенката на состојбата и во низа случаи тој дава резултати со неприфатливо голема грешка што може да доведе до сосема погрешни заклучоци во врска со вредноста на напрегањето во спроводниците/јажињата во точките на обесување во исклучителни зимски услови.

Во трудот е прикажана нова итеративна постапка со помош на која е овозможено да се изврши пресметка на точната вредност на граничниот распон на спроводниците односно јажињата кај надземните водови. Постапката е особено погодна за примена на дигитални компјутери и дава резултат после само неколку итерации, без оглед на карактеристиките на разгледуваните спроводници/јажиња и без оглед на пресметковните климатски услови што владеат на теренот.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Правилник за техничкии нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV.* (Сл. лист на СФРЈ бр. 65/1988).
- [2] *Правилник за техничкии нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон над 1 kV.* (Сл. лист на СФРЈ бр. 51/1973).
- [3] *Коментар на Правилникот за техничкии нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон над 1 kV со примери,* Грански стандарди ЗЈЕ, Белград 1980.
- [4] Р. Ачковски, *Надземни и кабелски водови – скрипта,* ЕТФ – Скопје, 1995.
- [5] М. Plaper, *Principi optimalnosti u mrežama za prenos i distribuciju električne energije,* ЗЈЕ – Beograd 1980.
- [6] К. Girkmann, Е. Königshofer, *Die Hochspannungs – Freileitungen,* Wien, 1952.
- [7] Р. Ачковски, *Еден брз и ефикасен алгоритам за решавање на равенката на состојбата.* Зборник на трудови на Електротехничкиот факултет – Скопје, бр. 5, ЕТФ–Скопје, 1987.
- [8] G. Muđeka, N. Rajakovi}, Z. Radojevi}, *Metoda proračuna graničnog raspona,* XVI Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije – CIGRE, Ref. br. 22.02, Opatija, 1983.

7. ПРИЛОГ: ЛИСТА НА УПОТРЕБЕНИ СИМБОЛИ

- σ, σ' Хоризонтална компонента на напрегањето во спроводник односно заштитно јаже и резултантно напрегање во точките на зацврстување;
- σ_M, σ_{di} Максимално и исклучително работно напрегање ;
- σ_x, σ_{xo} Хоризонтална компонента на напрегањето во услови при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$ и нејзина почетна вредност потребна во итеративниот процес;
- θ Температура на спроводникот односно заштитното јаже;
- a Распон, т.е. хоризонтално растојание помеѓу точките на зацврстување на верижникот;
- a_T, a_{gr} Тотален и граничен распон;
- α, E Температурен коефициент на линеарно топлинско издолжување и модул на еластичност на спроводникот/јажето;
- A, d Плоштина на напречниот пресек и пречник на спроводникот/јажето;
- g Основен зимски додатен товар ($g = 0,18 \cdot \sqrt{d} / A$);
- $p, \bar{p}, \bar{\bar{p}}$ Сопствена специфична тежина, специфична тежина со ИЗДТ и специфична тежина на спроводник/јажето со ИЗДТ;
- Δp Нормален зимски додатен товар на спроводникот/јажето ($\Delta p = k_n \cdot g = k_n \cdot 0,18 \cdot \sqrt{d} / A$);
- $\Delta \bar{p}$ Исклучителен зимски додатен товар на спроводникот/јажето;
- k_n, k_i Фактор на ИЗДТ и фактор на ИЗДТ ($\Delta \bar{p} = k_i \cdot \Delta p$);
- m, n Коефициенти во "параболизираната равенка на состојбата";
- c Параметар на верижникот ($c = \sigma / p$).

Табела I. Зависност на големината на граничниот распон за почесто употребуваните јажиња според стандардот MKS.N.C1.351

Напрегање фактор k_n	$\sigma_M = 5 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 6 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 7 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 10 \text{ daN/mm}^2$			
	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0
фактор на исклучителен додатен товар $k_i = 2,0$																								
Al/^ 50/8	1272	855	572	369	1348	901	601	387	1390	923	613	393	1398	921	608	388	1374	896	587	372	1317	853	563	364
Al/^ 70/12	1570	1075	730	475	1669	1137	768	498	1728	1169	785	507	1749	1172	782	502	1730	1146	758	483	1673	1094	723	467
Al/^ 95/15	1875	1308	899	591	1999	1386	948	621	2077	1430	972	633	2111	1440	972	629	2102	1416	946	607	2047	1360	901	582
Al/^ 150/25	2352	1691	1189	795	2520	1800	1259	838	2632	1866	1296	857	2693	1892	1303	855	2703	1876	1277	830	2661	1819	1223	790
Al/^ 210/35	2753	2033	1459	992	2959	2171	1549	1047	3104	2260	1602	1075	3191	2303	1617	1077	3223	2299	1596	1051	3198	2248	1538	1002
Al/^ 240/40	2929	2191	1589	1089	3153	2344	1690	1152	3313	2445	1750	1185	3414	2496	1771	1188	3457	2500	1753	1163	3442	2454	1696	1111
Al/^ 360/57	3386	2626	1963	1380	3660	2821	2096	1465	3863	2956	2181	1513	4001	3037	2221	1526	4078	3064	2216	1505	4093	3037	2165	1448
Al/^ 490/65	3538	2781	2102	1492	3786	2952	2213	1557	3949	3051	2264	1575	4033	3080	2256	1546	4039	3039	2187	1471	3965	2926	2078	1478
Al/^ 170/40	2657	1960	1407	956	2875	2110	1507	1019	3039	2217	1574	1059	3154	2284	1610	1077	3221	2312	1617	1072	3241	2301	1592	1045
Al/^ 240/55	3007	2280	1672	1157	3255	2454	1790	1233	3442	2579	1869	1279	3574	2656	1911	1298	3651	2689	1917	1289	3677	2678	1885	1252
Al/^ 350/80	3451	2700	2034	1441	3748	2916	2185	1539	3977	3075	2289	1602	4144	3182	2351	1632	4254	3239	2372	1630	4307	3246	2350	1595
Al/^ 490/110	3519	2837	2197	1595	3832	3073	2367	1709	4078	3252	2490	1786	4264	3379	2568	1827	4393	3455	2604	1835	4469	3484	2598	1807
Al/^ 50/30	1895	1340	931	617	2090	1474	1022	676	2254	1585	1097	724	2391	1677	1157	763	2505	1750	1205	792	2596	1807	1240	813
Al/^ 95/55	2568	1905	1374	938	2840	2101	1511	1029	3074	2266	1625	1104	3273	2405	1719	1165	3440	2519	1795	1213	3580	2611	1854	1249
Al/^ 120/70	2833	2143	1570	1086	3137	2366	1729	1193	3399	2555	1861	1281	3623	2715	1972	1353	3814	2848	2061	1410	3975	2956	2131	1453
Al/^ 75/80	4589	3239	2224	1470	4534	3176	2188	1491	4461	3113	2207	1531	4376	3096	2263	1569	4294	3154	2320	1591	4276	3234	2361	1581
фактор на исклучителен додатен товар $k_i = 3,0$																								
Al/^ 50/8	637	976	418	265	974	624	404	253	926	588	389	252	930	628	418	264	980	587	373	239	876	579	384	56
Al/^ 70/12	815	1229	539	344	1240	806	525	331	1197	761	498	323	1149	789	536	344	1230	806	478	309	1154	735	492	317
Al/^ 95/15	1006	1493	673	432	1521	1005	660	418	1489	958	622	402	1408	956	661	432	1469	1011	635	385	1515	902	610	397
Al/^ 150/25	1332	1924	908	590	1986	1349	902	577	1980	1310	855	545	1905	1244	871	584	1840	1327	908	522	1962	1309	816	538
Al/^ 210/35	1634	2300	1133	747	2397	1672	1139	736	2420	1647	1093	693	2369	1564	1065	729	2253	1590	1139	727	2293	1673	1013	676
Al/^ 240/40	1778	2470	1245	826	2586	1828	1257	818	2625	1813	1215	773	2589	1733	1163	799	2479	1711	1245	819	2438	1821	1181	745
Al/^ 360/57	2185	2928	1575	1069	3096	2274	1611	1072	3183	2292	1585	1026	3192	2237	1503	1008	3123	2124	1536	1075	2982	2188	1611	956
Al/^ 490/65	2290	3048	1654	1120	3176	2337	1645	1080	3206	2291	1558	1044	3137	2164	1585	1120	2976	2243	1656	1001	3036	2333	1488	238
Al/^ 170/40	1598	2241	1114	737	2364	1661	1141	745	2422	1671	1126	721	2420	1628	1071	690	2354	1547	1082	737	2245	1608	1141	707
Al/^ 240/55	1883	2575	1336	897	2723	1962	1371	905	2802	1981	1355	875	2813	1939	1291	838	2754	1844	1293	897	2634	1879	1369	849
Al/^ 350/80	2276	3015	1657	1135	3213	2393	1716	1157	3336	2443	1719	1132	3387	2427	1664	1071	3367	2346	1588	1117	3274	2247	1680	1152
Al/^ 490/110	2439	3132	1825	1280	3358	2584	1907	1315	3512	2663	1931	1304	3598	2680	1899	1246	3618	2633	1813	1233	3570	2525	1809	1311
Al/^ 50/30	1123	1619	769	504	1754	1208	823	537	1856	1270	860	558	1928	1308	879	567	1971	1324	882	565	1987	1318	869	551
Al/^ 95/55	1628	2246	1152	774	2450	1764	1241	829	2612	1867	1304	866	2737	1940	1344	886	2827	1984	1362	889	2884	2001	1357	876

Al/120/70	1847	2502	1326	901	2735	2006	1431	967	2924	2129	1508	1013	3073	2219	1560	1039	3185	2279	1586	1046	3262	2308	1588	1035
Al/75/80	2440	3389	1506	1009	3477	2270	1525	1021	3522	2191	1542	1033	3470	2217	1559	235	3119	2240	1575	235	3154	2263	357	235

Табела II. Зависност на големината на граничниот распон за почесто употребуваните јажиња според стандардот MKS.N.C1.702

Напрегање	$\sigma_M = 22 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 23 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 24 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 25 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 26 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 27 \text{ daN/mm}^2$			
	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0
фактор на исклучителен додатен товар $k_i = 2,0$																								
^ Ш 16	1999	1329	884	568	2022	1343	893	572	2042	1354	899	576	2058	1363	904	579	2071	1369	907	580	2080	1373	908	580
^ Ш 25	2587	1755	1183	766	2620	1774	1195	773	2648	1791	1204	778	2672	1804	1211	782	2692	1814	1217	785	2708	1821	1219	785
^ Ш 35	3160	2187	1494	977	3203	2213	1510	987	3241	2235	1523	994	3275	2254	1534	1000	3303	2269	1541	1003	3326	2280	1546	1005
^ Ш 50	3840	2723	1893	1255	3897	2758	1915	1267	3948	2789	1933	1277	3993	2815	1948	1285	4032	2837	1959	1291	4066	2854	1968	1294
^ Ш 70	4395	3183	2249	1509	4463	3227	2276	1525	4526	3266	2300	1538	4581	3299	2319	1549	4631	3328	2335	1556	4674	3352	2347	1561
^ Ш 95	5141	3831	2767	1890	5227	3887	2804	1911	5305	3938	2835	1930	5376	3983	2862	1945	5440	4022	2885	1956	5497	4056	2903	1964
фактор на исклучителен додатен товар $k_i = 3,0$																								
^ Ш 16	1451	931	603	379	1441	920	594	373	1426	906	584	367	1407	891	576	365	1385	880	577	370	1365	882	587	378
^ Ш 25	1932	1258	821	518	1926	1247	810	510	1914	1232	798	502	1896	1213	785	496	1873	1194	778	499	1846	1181	783	509
^ Ш 35	1602	2420	1056	670	2420	1593	1044	660	2414	1578	1030	649	2400	1559	1013	640	2380	1537	999	639	2355	1513	994	648
^ Ш 50	2046	3023	1366	874	3033	2041	1356	863	3035	2030	1341	850	3031	2013	1322	836	3018	1990	1301	827	2998	1963	1283	831
^ Ш 70	2442	3535	1653	1067	3556	2442	1644	1056	3568	2436	1630	1041	3572	2423	1611	1024	3569	2403	1588	1008	3557	2377	1563	1002
^ Ш 95	3017	4245	2085	1364	4281	3027	2080	1354	4309	3030	2070	1338	4328	3025	2053	1319	4339	3012	2031	1298	4341	2993	2003	1279

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж., Електротехнички факултет – Скопје

ИЗБОР И ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ НА ЗАЗЕМЈУВАЧИТЕ НА СТОЛБОВИТЕ КАЈ НАДЗЕМНИТЕ ВОДОВИ

КРАТКА СОДРЖИНА

Во трудот е најнапред дефинирана задачата, а потоа се опишани и основните карактеристики на заземјувачите на електроенергетските објекти. Потоа е даден кус осврт кон нашите прописи и регулативата сврзана со проблемот на заземјување на надземните водови во мрежите со различен третман на неутралната точка. Направен е и осврт кон методите за пресметување на заземјувачите, а потоа е изложена и постапка за избор на типот и димензиите на заземјувачите кај надземните водови.

SUMMARY

The basic task and main characteristics of the earthing in power systems is treated in this paper. Some technical standards and regulations concerning the problem of earthing the towers of overhead lines in networks with different neutral grounding is also treated in it. A short review of methods for calculation the characteristics of grounding and procedure for selection the type and dimensions of towers' earthing is presented at the end of the paper.

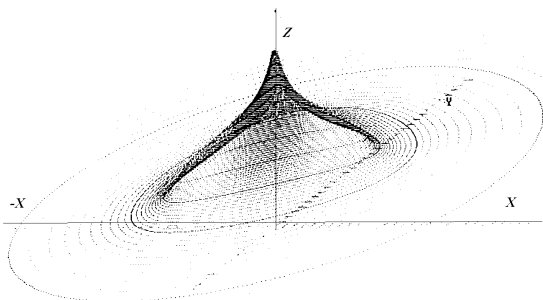
Клучни зборови: Надземни водови, заземјувачи, избор и димензионирање.

1. ВОВЕД

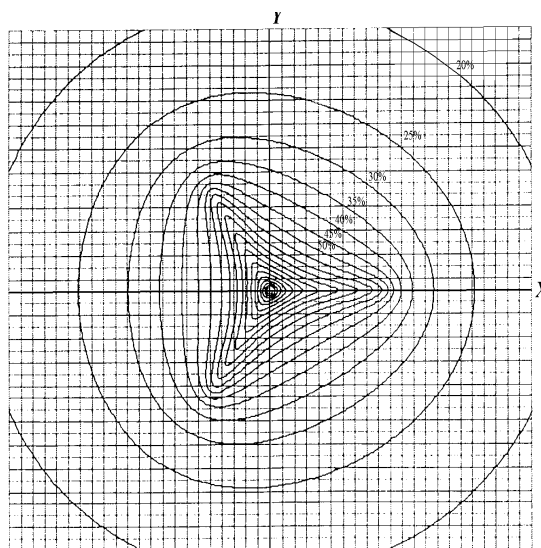
При пробив на фазната изолација кај некој елемент од електроенергетскиот систем (ЕЕС) како и при појава на куси врски пропратени со спој со земјата, на местото на спојот (грешката) во системот доаѓа до течење на струја во земјата – наречена струја на земјоспојот. Големината на струјата што ќе тече низ спроводниците до местото на грешката како и времетраењето на самата грешка зависат од начинот на заземјување на неутралната точка во мрежата но и од карактеристиките на релејната заштита. Во мрежите со директно заземјена неутрална точка струите на грешка што течат во земјата можат да достигнат неколку килоампери, па дури и неколку десетици килоампери, поради што нивното времетраење се ограничува на само неколку десетинки од секундата. Од друга страна, во мрежите со изолирана неутрална точка како и во компензираните мрежи, струјата на грешка (наречена

уште и струја на доземен спој) има претежно капацитивен карактер и таа може да изнесува од неколку ампери до неколку десетини ампери. Затоа во тие случаи се допушта траењето на земниот спој да биде значително подолго – и по неколку часови.

Течењето на струјата во земјата создава во неа струјно поле. Бидејќи густината на струјата на местото каде што таа влегува во земјата е голема, потенцијалите во близината на тоа место можат да добијат опасно високи вредности. За да се избегне таа опасност, кај електроенергетските објекти (електричните центри, разводните постројки, трансформаторските станици и др.) како и кај самите столбови од надземните водови, се предвидува изведба на заземјувачи. Нивна основна задача е тие да создадат пат на струјата на грешка во земјата со што е можно помала преодна отпорност и на тој начин да ги елиминираат или барем да ги намалат опасностите поради настанатите превисоки потенцијали во околината на местото на грешката.



Слика 1. Напонска инка на зракаст заземјувач со три краци



Слика 2. Еквипотенцијални линии во околината на заземјувачот од сл. 1

Заземјувачот на еден електроенергетски објект може да се дефинира како множество на неизолирани и меѓусебно галвански споени метални елементи (хоризонтални и вертикални), наречени електроди, кои се закопани во земјата така што со неа имаат добар електричен контакт. Тој има задача струјата на земјоспој, односно струјата на грешка да ја спроведе во земјата така што на површината од земјата да не се јават потенцијали кои ќе го загрозат животот на луѓето и животните коишто можат да се најдат во неговата непосредна околина. Покрај тоа, заземјувачот треба да има што е можно помала преодна отпорност према земјата, која уште се нарекува "отпорност на распростирање на заземјувачот", за да се обезбеди струјата на грешката да задржи доволно висока вредност заради дејствување на соодветната релејна заштита, ако е таа предвидена.

2. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАЗЕМЈУВАЧИТЕ

При одведувањето на струјата I_Z во земја, заземјувачот добива некој потенцијал U пропорционален на струјата на одведување I_Z . Односот $U/I_Z = R$ се нарекува *оппорносћ на распросћирање на заземјувачопп*. Отпорноста на распростирање R не зависи од струјата на одведување I_Z , туку зависи од димензиите и геометријата на самиот заземјувач, но и од карактеристиките на тлото во кое што тој се наоѓа.

Површината на земјата во зоната на одведувањето на струјата I_z добива во разни точки разни потенцијали. Распределбата на потенцијалите по површината од земјата зависи, исто така, од геометријата на заземјувачот т.е. зависи од неговите димензии, длабочината на закопувањето на неговите елементи и слично. Значи, при одведувањето на струјата во земја, помеѓу било која точка на површината на земјата и заземјените предмети, коишто како и самиот заземјувач се наоѓаат на потенцијал U , се јавува некоја потенцијална разлика и таа во различни точки на површината од земјата е различна. Максималната разлика на потенцијали што може човек, кој се наоѓа во непосредна близина на заземјувачот, да ја премости при допир на заземјените делови се нарекува *потиенцијална разлика на допир* ΔE_d .

Човек кој се наоѓа во близина на заземјувачот што одведува струја во земјата може да се најде во опасност дури и кога не ги допира заземјените предмети кои го имаат потенцијалот на заземјувачот. Бидејќи разните точки по површината на земјата во близина на заземјувачот што одведува струја добиваат различни потенцијали (сл. 2) и нивните вредности притоа можат значително да се разликуваат, чекорејќи во близина на заземјувачот нозете на човекот ќе бидат изложени на некаква потенцијална разлика. За оценка на оваа опасност е воведена т.н. "*потиенцијалната разлика на чекор*" ΔE_c . Тоа е разликата на потенцијалите помеѓу оние две соседни точки на површината на земјата коишто се наоѓаат на меѓусебно растојание од 1 m (колку што може да изнесува чекорот на еден човек) и помеѓу кои постои најголема потенцијална разлика.

Основни карактеристики на секој заземјувач се: отпорноста на распортирање R , потенцијалната разлика на чекор ΔE_c и потенцијалната разлика на допир ΔE_d . Тие зависат од димензиите и геометријата на самиот заземјувач, но и од карактеристиките на почвата (нејзината структура, специфичната отпорност и друго). Основна задача на проектирањето и димензионирањето на заземјувачите е при однапред познати струја на одведување I_z , специфична отпорност на тлото ρ и времетраење на струјата на грешката, да се избере заземјувач со облик и димензии такви што тој ќе ги задоволи техничките ограничувања дефинирани со мерките за безопасност а наедно ќе биде и економичен. Со други зборови, изборот и димензионирањето на заземјувачите претставува сложена техничко-економска задача, којашто треба да претставува оптимален компромис помеѓу техничките барања наметнати со прописите и барањата за економичност.

3. ОСВРТ КОН ПРОПИСИТЕ ЗА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ НА СТОЛБОВИТЕ

3.1. Општи одредби

Со правилникот за техничките нормативи за градба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV (Сл. лист на СФРЈ бр. 65/88 [3] се определени условите кои мораат да ги задоволат заземјувачите од далекуводните столбови. Општо, со заземјувачите на столбовите треба да се постигне:

- 1) сигурност на водот во погонот, т.е. појавата на повратен прескок при атмосферски празнења да се спречи или сведе на што е можно помала мерка и

- 2) сигурност на луѓето и другите живи суштества што доаѓаат во непосреден допир со столбовите од далекуводот, или поинаку кажано, да се отстрани или барем смали ризикот од појава на опасни потенцијални разлики на чекор или допир при појава на куси врски и земјоспоеви.

Ова се рамковни задачи на заземјувачите и тие треба да бидат исполнети во што е можно поголема мера. Понатаму, со прописите од Правилникот [3] се попрецизно определени (макар што сè уште недоволно прецизно) начините на изведување на заземјувачкиот систем кај надземните водови во зависност од третманот на неутралната точка на мрежата и се утврдени минималните услови што мораат во едни или други конкретни услови да бидат постигнати, т.е. задоволени.

3.2. Технички прописи

Техничките прописи се, во принцип, договорени правила на однесување, теориски докажани и практично проверени. Тие од една страна треба да водат сметка за техничката сигурност на погонот, условите за безопасност и слично, а од друга страна да водат сметка и за економичноста и рационалноста на применетото техничко решение. Затоа во низа случаи, а тоа е особено присутно овде, кога зборуваме за заземјувачкиот систем на еден далекувод, тие му оставаат на проектантот можност за широк избор. Изборот треба да се темели на проверената традиција, инженерското искуство но и на интуицијата на проектантот. Притоа, безусловно треба да бидат задоволени и определени технички норми со кои се обезбедува бараната сигурност во погонот.

Прописите значи дозволуваат и дополнителни зафати со кои се зголемува сигурноста на водот и сигурноста на околината, а тие зафати треба да се преземаат ако е тоа потребно и оправдано. Одредбите од прописите се, значи, еден вид смерници според кои се врши изборот и димензионирање на заземјувачите. Вообичаен пристап при тоа е воведување на фамилија тн. "типски заземјувачи", при што изборот на типските заземјувачи треба да базира на претходни теориски анализи и да е осмислен така што избраните типови заземјувачи ќе ги задоволат условите предвидени со техничките прописи, од една страна, а од друга страна, максимално ќе се води сметка и за економичноста.

3.2.1. Заземјувачи во мрежите со неутрална точка заземјена преку придушница и во мрежите со незаземјена неутрална точка

Во мрежите со висок напон ($U_n > 1 \text{ kV}$) со незаземјена неутрална точка како и во мрежите чија неутрална точка е заземјена преку придушница, се претпоставува дека траењето на земјоспојот ќе биде подолго. Затоа, според Правилникот [3], кај нив е потребно отпорноста на распростирање R на столбовите поставени во населените места, покрај прометните патишта, на обработливи површини и сегде онаму каде што е извесна можноста човек да дојде во допир со столбот, да биде лимитирана. Во наброените случаи таа не смее да ја надмине вредноста R_Z , дадена со изразот:

$$R \leq R_Z = \frac{U_Z}{I_Z}, \quad (3.1)$$

каде што е:

$U_z = 125 \text{ V}$ – највисок дозволен потенцијал на заземјувачот;

I_z – струја на земјоспојот (A), којашто тече низ заземјувачот.

Струјата I_z што фигурира во изразот (3.1) во мрежите со изолирана неутрална точка е капацитивната струја на земјоспојот, додека пак во мрежите кај кои неутралната точка е заземјена преку компензациона придушница, I_z е преостаната струја на земјоспојот.

Кај надземните водови снабдени со заштитни јажиња, под отпорност на распространење R во таа смисла се подразбира вкупната (еквивалентната) отпорност на заземјувањето, уважувајќи ја тука и врската со заштитното јаже/јажиња.

Пречекорувањето на вредноста R_z од (3.1), предвидена со Правилникот [3] се дозволува само ако се примени една од следниве мерки:

- а) редовна контрола на изолаторите, и тоа најмалку еднаш годишно;
- б) примена на непробојни масивни или стапести изолатори;
- в) вградување на уреди за сигнализација на земјоспојот и непосредно автоматско исклучување на водот штом ќе настане дефект.

Доколку е задоволена релацијата (3.1) или пак доколку е применета една од претходно споменатите мерки, тогаш посебни мерки за намалување на напонот на чекор, според Правилникот [3], не се потребни.

3.2.2. Заземјувачи во мрежи чија неутрална точка е заземјена директно или преку мала отпорност

Надземните водови што ѝ припаѓаат на мрежа чија неутрална точка е директно заземјена или заземјена преку мала отпорност, мораат да имаат уреди за брзо автоматско исклучување на земјоспојот/кусата врска кои сигурно ја исклучуваат делницата во дефект и така ја остраниваат опасноста од дејството на напонот на местото на земјоспојот. Притоа сите столбови од надземниот вод, по правило, мораат да имаат заземјувач во форма на еден или два прстена околу темелот на столбот. Кај столбовите со расчленети темели, со прстенот/прстените се опфаќаат сите темели од столбот. Најмалата длабочина на вкопувањето на елементите од заземјувачот е $h = 0,5 \text{ m}$, а оддалеченоста на прстените од темелот, односно од столбот мора да биде таква што да се постигне најповолно обликување на потенцијалот, во склад со формата и конструкцијата на темелот на столбот.

Доколку столбовите се поставуваат на терен со голема специфична отпорност во кој со рационална употреба на материјалот не можат да се постигнат задоволителни резултати во поглед на големината на отпорноста на распространење, Правилникот [3] допушта таквите столбови да не се заземјуваат.

Во поглед на заштитата од опасен напон на местото на земјоспојот, кај ваквите мрежи не треба да се преземаат други специјални мерки освен претходно наведените.

3.2.3. Заземјување за заштита од гром

Заземјувачите на столбовите имаат и друга задача – да ја одведат на струјата на громот во земјата при појава на атмосферско празнење во надземниот вод. За да се намали опасноста од повратен прескок во тој случај потребно е, во согласност со избраното изолационо ниво на водот, да се определи максимално дозволената отпор-

ност на распростирање, водејќи сметка за зачестеноста и јачината на громовите во подрачјето низ коешто минува трасата од водот, бараната сигурност на водот и зачестеноста на дефектите.

Според Правилникот [3], повратен прескок на изолацијата не е веројатен ако за големината на отпорноста на распростирање на заземјувачот R е исполнет условот (3.2):

$$R \leq R_u = \frac{U_i}{I_u} \quad (3.2)$$

каде што е:

R_u – отпорност на распростирање на заземјувачот на посматраниот столб (Ω), не сметајќи ја притоа врската со заштитните јажиња (доколку тие постојат)¹;

U_i – поднослив ударен напон (kV) на изолацијата на посматраниот столб;

I_u – темена вредност на ударната струја на громот (kA) за посматраниот столб.

При изборот на темената вредност на ударната струја I_u како ориентација можат да послужат вредностите во табелата I, кои покажуваат колкава е веројатноста P , изразена во %, темената ударна вредност на струјата на громот при атмосферското празнење да не ја надмине соодветната вредност I_u којашто се отчитува од првата редица на оваа табела. Притоа, вредности на струјата помали од 20 kA смеат да се земаат како меродавни за димензионирање само за водови со напон до 35 kV.

Табела I.

Темена вредност на струјата I_u (kA)	5	10	15	20	30	40	50	60
Веројатност P струјата I_u да не биде надмината (%)	14	40	62	79	91	95	98	99

Основа за усвојување на темената вредност на ударната струја на громот I_u се податоците за зачестеноста на атмосферските празнења, бројот на деновите со грмежи во годината или годишниот број на ударите на гром на 1 km², дистрибуцијата на темената вредност на струјата на громот и саканото (усвоеното) ниво на сигурност со оглед на веројатниот број на повратни прескоци во една година.

Ако со заземјувањето предвидено со Правилникот, според изнесеното во претходната точка, не се постигне отпорност на распростирање која ќе ја обезбеди бараната заштита од атмосферски пренапони, потребно е да се постави уште еден прстен околу сите темели на столбот, на длабочина 1 m, односно да се постават зраковидни заземјувачи со вкупна должина приближно еднаква на должината на заземјувачот во вид на прстен, ако е тоа поповолно, со оглед на условите што владеат на теренот. Ако ни со ова не се постигне задоволителна отпорност која штити од повратен прескок, се остапува од натамошното појачување на заземјувачот.

¹ Правилникот [3] дозволува да се смета дека "ударната вредност" на отпорноста на распростирање на заземјувачот, со која треба да се оперира при пресметките на атмосферските пренапони, е приближно еднаква на отпорноста на распростирање што се добива со вообичаените мерења со наизменична струја, иако тоа не е сосема така.

4. ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ЗАЗЕМЈУВАЧИТЕ

Под терминот пресметување или решавање на заземјувач се подразбира определување на отпорноста на распростирање R односно потенцијалот U на кој доаѓаат заземјувачот и заземјените метални делови при одведување на струјата, како и определување на распределбата на потенцијалите по површината на земјата во негова непосредна близина, а во тој контекст и определување на потенцијалните разлики на чекор и допир $\Delta E_{\text{ч}}$ и $\Delta E_{\text{д}}$. За решавањето на овој проблем е развиен голем број математички модели и постапки кои овозможуваат по пресметковен пат да се добијат резултати со многу висока точност. Постои и голем број формули и емпириски или полуемпириски изрази кои служат за приближно пресметување на карактеристиките на заземјувачите, но и низа компјутерски ориентирани методи какви што се нпр. потенцијалниот методот, методот на средни потенцијали, методот на парцијални површини и др. Тие тие базираат на теоријата на полето при што ја користат формалната аналогија којашто постои помеѓу електростатичкото и стационарното струјно поле и даваат резултати со определена точност.

Пресметувањето на сложените заземјувачи со произволна геометрија и димензии обично се врши со примена на некоја нумеричка постапка базирана на примената на Маквеловите равенки за пресметување на квазистационарното струјно поле во земјата, создадено од соодветен број праволиниски елементи (електроди) со кои се моделира самиот заземјувач. Кога станува збор за сложени заземјувачи составени од голем број елементи во форма на ленти, јажиња, метални цевки и слични елементи, а притоа вкупната должина на заземјувачот не надминува 200 метри, како најпогоден се покажал *методот на средни потенцијали*. Неговата точност е особено голема кога заземјувачот може да се претстави како множество од праволиниски елементи чии должини се значително поголеми од нивните напречни димензии. Тој не внесува никакви ограничувања во поглед на димензионалноста на проблемот и геометријата на самиот заземјувач и прифаќа било каква заемна положба на неговите елементи во просторот. Самиот метод на средни потенцијали е доста опширно опишан нпр. во [10], [11] и [12]. Врз основа на него, на Електротехничкиот факултет во Скопје во 1991 г. е изготвена компјутерска програма наречена "ZAZEM" [11], наменета за решавање на сложени заземјувачи со произволни димензии и произволна геометрија.

Бидејќи денес на секој проектант му е достапен софтвер за таков или сличен вид обработка, отпаѓа понатаму потребата за приближно пресметување на заземјувачите со помош на некогаш широко користените емпириски формули за пресметување на сложените конфигурации заземјувачи. Сепак, во [16] се дадени некои од нив, кои се однесуваат на најчесто употребуваните елементарни типски форми заземјувачи што се применуваат кај нас за изведба на заземјувачите на надземните водови и кои се впрочем предвидени со техничката препорака ТП. 9 на ЕПС [13]. Покрај тоа, во [16] се прикажани и основните параметри на поголем број типски форми заземјувачи на столбовите од надземните водови.

Со пресметките на отпорноста на распростирање на претходно споменатите типски форми заземјувачи на столбовите од надземните водови, во основа се доаѓа до следните општи констатации:

- големината на пресекот/пречникот на елементите (електродите) од кои е изведен заземјувачот има сосема незначително влијание врз константите на заземјувачот (отпорност на распростирање R и потенцијалните разлики на

чекор $\Delta E_{\text{ч}}$ и допир $\Delta E_{\text{д}}$) поради што пресекоот треба да се утврдува само врз основа на термичкиот критериум и потребите за заштита од корозија;

- длабочината на закопување на заземјувачите h исто така има мало влијание врз параметарот R . Затоа длабочината h треба да се избере така што непосредната околина на заземјувачот ќе содржи доволно количество влага преку целата година, но исто така заземјувачот треба да биде и во зимскиот период надвор од слојот земја што замрзнува. Наедно, тука треба да се води сметка и за можноста за механичко оштетување на заземјувачот кога е тој закопан во обработливо земјиште, така што е препорачливо, стандардната длабочина на закопување да биде најмалку 0,5 m, додека на обработливите површини, таа треба да изнесува најмалку 0,8 m;
- во случајот на примената на зракастите заземјувачи не е рационално да се користат повеќе од 4 краци, а нивната должина не треба да надминува повеќе од 40 m.

5. ИЗБОР НА ТИП И ДИМЕНЗИИ НА ЗАЗЕМЈУВАЧИТЕ

5.1. Мерење на специфичната отпорност на тлото

Основа за пресметка и избор на еден заземјувач е познавање на карактеристиките на тлото, во прв ред познавањето на геолошкиот состав на тлото и неговата специфична отпорност ρ . Затоа, пред да се пристапи кон изборот на типот и димензиите на секој заземјувач, неопходно е да се измери, или пак процени вредноста на специфичната отпорност ρ на тлото во кое тој ќе биде поставен.

Геолошкиот состав и структурата на тлото значително влијаат врз големината на неговата електрична спроводност. Најдобри спроводници на електрична струја се мочурливите почви како и почвите кои содржат глина, хумус и сл., додека каменитото тло е во таа смисла најнеповолно. Обично, почвата е составена од повеќе слоеви со различен состав и дебелина и многу е редок случајот кога земјата има хомоген состав. Дури и во релативно хомогените геолошки структури, кога тлото е составено од една единствена врста почва, поради различниот степен на порозност (набиеност) и различното количество на влага во земјата, можни се големи разлики на вредноста на специфичната отпорност ρ од локација до локација.

Трасите од надземните водови, по правило, минуваат низ терени на кои се менуваат геолошките структури на тлото. Затоа, не е можно, ниту пак е правилно, димензионирањето на заземјувачите на столбовите да се врши врз основа на една единствена просечна вредност на специфичната отпорност на тлото, проценета преку составот на тлото добиен со увид на лице место по должината на трасата. Потребно е, значи, за секој новопроектиран далекувод, за секое столбно место, или барем за карактеристичните столбни места, со мерење да се утврди вредноста на специфичната отпорност ρ .

Со мерењето не се утврдува само средната (интегралната) вредност на специфичната отпорност туку и дебелината на одделните слоеви, во случајот кога се работи за хоризонтално услоено тло. Подоцна, со користење на резултатите од овие мерења како и со користење на искуствата од геомеханичките проспекции што се вршат на одделните столбни места за потребите на димензионирањето на темелите на столбовите, се утврдува подетално геолошкиот состав на тлото. Мерењето на

вредноста на специфичната отпорност ρ во денешно време се спроведува со методи за геоелектрично сондирање. Меѓу најпознатите од нив се Шлумбергеровиот метод (Schlumberger) [4] и Венеровиот (Wenner) метод [5], [10].

При организирањето на мерењата на специфичната отпорност на тлото ρ редовно се поставува прашањето дали мерењата да се вршат на сите столбни места, или пак само на т.н. "репрезентативни" места долж трасата од водот. Во последниов случај најнапред се врши избор на определен број столбни места кои можат со голема сигурност да ја претставуваат геолошката структура на тлото за локалниот дел од трасата што се наоѓа во нивната близина. Така, на пример, наместо на секое столбно место, можеме да организираме мерења на секое второ, трето или петто столбно место. Се разбира, така ќе постапиме доколку претходно сме оцениле дека специфичната отпорност на тлото ρ на делот од трасата помеѓу двете соседни мерни места битно не се менува и може со задоволителна сигурност да се процени врз основа на таквите мерења. Вакавата постапка со избор на репрезентативни места долж трасата е најчесто прифатлива. Сепак, во терените со чести промени на битно различните геолошки структури на тлото долж трасата, единствено исправно решение ќе биде мерење на специфичната отпорност ρ на секое столбно место.

5.2. Избор на материјал за изработка на заземјувачите на столбовите

Заземјувачите на електроенергетските објекти најчесто се изработуваат од поцинкувано калено железо, бакар, пооловено и побакарено железо, а во некои случаи се применуваат и други материјали (лесни материјали). Заземјувачите од железо треба да имаат поголем пресек и поголема дебелина поради нестабилноста на железото во земја (влијание на разни хемиски производи и отпадоци) бидејќи лесно доаѓа до негова корозија и скратување на неговиот век. Ова се однесува особено на челичните јажиња кај кои поради големата допирна површина со земјата и продирањето на влага во внатрешноста на жиците, корозијата му е зголемена.

Зависно од средината во која се положуваат заземјувачите (чиста, сува влажна, агресивна) брзината на појава на корозија ќе биде различна. Присуството на гасовите O_2 , SO_2 , CO_2 и др. во тлото ја забрзуваат и помагаат корозијата на поцинкуваното железо и со тоа му го скратуваат животниот век. Ако тенкиот слој цинк е нагизен и неквалитетен, тогаш заземјувачот брзо ќе биде уништен бидејќи незаштитеното железо ќе кородира само за неколку години.

Бакарот е значително поотпорен но и и поскап материјал. Поради неговата хемиска стабилност, понекогаш му се дава предност во однос на другите материјали. Бакарните спроводници најчесто се користат за заземјување во постројките со висок напон. При нивното галванско спојување со железни, оловни или поцинкувани спроводници доаѓа до појава на галвански елемент кој создава струја што ќе тече преку спојот во земјата. Притоа доаѓа до електролитско одведување на материјалот и слабеење на пресекот на спроводникот, а тоа со текот на времето може да предизвика дури и прекин на спојот.

Лесните и пооловените метали се користат само во некои специјални случаи кога не е можно да се употребат гореспоменатите метали. Таков е, на пример, случајот кога во тлото постојат хемиски агресивни материји кој ги разоруваат гореспоменатите метали. Сепак, тие не се применуваат така едноставно без претходно да се проучат околностите кои ја условиле нивната примена, но ако употребиме заземјувачи од лесни материјали, нивните електрични и механички особини треба да соодветствуваат на особините на спроводниците од бакар, изнесени во табела II.

Табела II. Најмалите дозволени пресеци на заземјувачите, според Правилникот [3]

Поцинкуван челик	Бакар
Лента со пресек 100 mm ² со дебелина најмалку 3,5 mm	Лента со пресек 50 mm ² но не потенка од 2 mm
Тркалезен челик со пречник 10 mm	Јаже со пресек 35 mm ²
Цевка со пречник 38 mm и дебелина не помала од 3,5 mm	Цевка со пречник 30 mm, со дебелина не помала од 2,5 mm
Аголник 65 mm x 65 mm x 7 mm	
Профил U 6,5, односно Т 6 или други соодветни профили	

Елементите од кои е изведен заземјувачот можат да бидат изработени од: валчесто железо, цевки, ленти, јажиња и разни профили, зависно од тоа со што располагаме во дадената ситуација, какви се карактеристиките на тлото и каква вредност отпорноста на распростирање на заземјувачот сакаме да постигнеме.

Според начинот на полагање на елементите, заземјувачите кои се применуваат кај надземните водови се делат на хоризонтални и вертикални. Според обликот на самите заземјувачи, тие се делат на прстенести и зракасти (свездести). Во нашата практика најчесто се применуваат хоризонталните заземјувачи, додека вертикалните заземјувачи (сонди) кај надземните водови се користат многу поретко и тоа само во некои специјални случаи, кога земјата е слоевита и кога долните слоеви имаат значително помала специфична отпорност во однос на горниот слој или пак кога просторот за изведба на самиот заземјувач е многу ограничен, па постигањето на мала отпорност е можна само со "одење надолу" – во длабина. Хоризонталните заземјувачи најчесто се изведуваат од поцинкувани челични ленти или пак од поцинкувано (пооловено) валчесто железо, а во некои случаи се применува и бакарно јаже. Заради заштита од корозија во текот на експлоатацијата како и заради заштита од термичко преоптоварување во режимот на куса врска односно земјоспој, пропишани се минималните вредности на пресеците на заземјувачите од надземните водови (табела II). Во поглед на изборот на материјалите за изведба на заземјувачите на столбовите во услови кога поради агресивноста на тлото е можна нивна засилена корозија, прописите не даваат посебни критериуми, освен препораката, гореспоменатите пресеци да се зголемат за околу 50% кога станува збор за непоцинкуван или лошо поцинкуван челик (железо).

5.3. Избор на конфигурација и тип на заземјувачот

Изборот на конфигурацијата и димензиите на заземјувачите од надземните водови се врши:

- а) врз основа на познатата вредност на струјата на еднофазна к. врска/земен спој;
- б) врз основа на избраната вредност на струјата на громот во столбот или во заштитното јаже блиску до столбот, што е сврзано со некое однапред усвоено ниво на ризик за испад на водот под дејство на атмосферските пренапони.

Може да се каже дека техничката препорака [13] во основа дава добри смерници кои му помагаат на проектантот при изборот на типот и димензиите на

заземјувачот. Сепак, во основа, при изборот на типот на заземјувачот треба да се води сметка за следното.

Изборот на контурните и прстенестите заземјувачи е сврзан со условите за заштита од превисоките напони на допир и чекор. Притоа со погоден избор на соодветна конфигурација (еден или два прстена, употреба на дополнителни хоризонтални краци и сл.) и со погоден избор на димензиите и длабочината на закопување на заземјувачот, проектантот се труди да ја постигне бараната вредност на отпорноста на распростирање R но и да обезбеди најповолна распределба на потенцијалите во околината на посматраното столбно место. При ваквиот избор проектантот може да се служи и со разни табели (нпр. [16]) во кои се дадени отпорностите на распростирање R и другите карактеристики на голем број типски заземјувачи на столбови.

Зракастите заземјувачи се избираат во услови во кога единствен критериум за нивниот избор и димензионирање е заштитата на водот од атмосферски пренапони. Со други зборови кажано, тие се применуваат тогаш кога поради високата специфична отпорност на тлото или поради релативната непристапност до столбното место, не се бара никаква заштита од дејствувањето на напонот на чекор/допир на лице место. Бројот на краците на зракастиот заземјувач се одбира така што да се води сметка за реалните услови и можноста за нивното полагање на теренот, но и врз основа на вредноста на отпорноста ρ на посматраното столбно место. Нивната должина се одбира водејќи сметка за условот за безопасност (3.1) односно условот на заштита од повратен прескок, во склад со релацијата (3.2) при што е корисно и рационално да се употребуваат податоците од готови табели.

Што се однесува до дилемата дали на терен со висока специфична отпорност да се предвиди заземјувач со 3 или пак со 4 краци, треба да се има предвид дека заземјувачот со 3 краци претставува порационално и поекономично решение. Употребата на четвртиот крак има оправдување само тогаш кога, меѓу другото, се сака да се постигне поповолна распределба на потенцијалите во околината на столбното место.

После полагањето на заземјувачот во ровот, тој се затрупува со самиот ископ доколку тој не содржи материјали со висока специфична отпорност (шут, камења, чакал и сл.). Во спротивно, затрупувањето треба да се изврши со материјал кој има добра електрична спроводност. Кога на околниот терен не е можно за таа цел да се обезбеди доволно количество добро спроводна земја, а условите за сигурност и безопасност бараат намалување на отпорноста на распростирање на заземјувачот, тогаш е препорачливо да се испита оправданоста за примена на материјали со добра електрична спроводност каков што е, на пример, бентонитот. Неговата примена дава добри технички ефекти бидејќи на тој начин се намалува не само отпорноста на распростирање на заземјувачот, туку и напоните на допир и чекор. Така, на пример, во [2] се наведува дека со примена на бентонитот кај вертикалните заземјувачи (сонди) положени во тло со висока специфична отпорност ρ , отпорноста на распростирање на заземјувачот R се намалува за 3 до 4 пати. До слични заклучоци (добиени по експериментален пат на пробни полигони во СФРЈ) се дошло и во случајот кога е применуван бентонит кај зракастите заземјувачи поставени во тло со специфична отпорност $\rho \geq 500 \Omega\text{m}$. Кај нив е постигнато намалување на отпорноста R дури и за два пати [15]. Во секој случај, примената на бентонитот заради намалување на отпорноста на распростирање R треба да биде економски оправдана, при што бездруго таа ќе треба да се спореди со алтернативните решенија какви што

се, на пример, зголемувањето на димензиите на заземјувачот, доведување до столбното место добро спроводна земја од други локации и др.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. M. Nahman: *Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža*, "Nauka knjiga" – Beograd 1980.
- [2] H. ^engi}, M. Petrovi}, *Zaštita uzemljenjem*, Institut za dokumentaciju zaštite na radu, Niš, 1979.
- [3] *Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV*. (Сл. лист на СФРЈ број 65 од 1988 г.).
- [4] S. Milun, *Geoelektrično sondiranje izmjeničnom strujom: utjecajne veličine*. Elektrotehnika ELTHB2 27, 1-2, 1984 pp 127-132.
- [5] G. F. Tagg, *Earth Resistances*, G. Newnes, 1964.
- [6] J. Nahman, D. Salamon, *Obrada rezultata merenja električnih karakteristika tla izvedenih probnom sondom*. Elektrotehnika ELTHB2 29, 3, 1986 pp 175-180.
- [7] J. Nahman, D. Salamon: *Računarska interpretacija rezultata merenja specifične električne otpornosti tla Vener-ovom metodom*. (Ref. R.23-10). XXI Stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, JUKO - CIGRE, Vrnjačka Banja, 11-14 oktobar 1993 g.
- [8] S. Milun, *Obrada rezultata geoelektričnog sondiranja nehomogenog tla*. Elektrotehnika ELTHB2 27, 1-2, 1984 pp 133-138.
- [9] Z. Krulc, *Otpornost tla i geoelektrično-geološka građa tla*. Elektrotehnika ELTHB2 29, 3, 1986 pp 181-187.
- [10] P. Ачковски: *Проектирање на заземјувачи со помош на компјутери*. Семинар за електроинженери, Охрид 1991.
- [11] *Програмски пакет "ZAZEM" наменет за проектирање на заземјувачи со помош, на персонални компјутери*. Програмски пакет, изготвен на ЕТФ-Скопје, 1991.
- [12] P. Ачковски, *Упатство за користење на програмскиот пакет „ZAZEM“ наменет за проектирање на заземјувачи*. ЕТФ-Скопје, 1991.
- [13] *Tehnička preporuka TP. 9, Elektroprivrede Srbije (EPS, Beograd, 1979 g.*
- [14] Dwight, *Calculation of resistances to ground*, AIEE, 55, pp. 1319-1328, 1936.
- [15] V. Meludin, S. Skok, F. Jakl, *Eksperimentalna istraživanja poboljšanja karakteristika uzemljivača*. Elektrotehnika ELTHB2 29, 3, 1986 pp 189-196.
- [16] P. Ачковски, *Заземјувачи на столбовите од надземните водови – елементи на заземјувачкиот систем на ЕЕС*. Семинар за електроинженери, Охрид 1997.

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

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

Костадин Лукарски, дипл.ел.инж.
Илија Хаџидаов, дипл.ел.инж.
РЖС - Скопје
Зоран Огненоски, дипл.ел.инж.
ЈП"ЕСМ", Скопје

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕДУВАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА
ДАЛНОВОДОТ 400 kV БИТОЛА 2 - СКОПЈЕ 4**

СОДРЖИНА

Пресметката на параметрите на далноводот е овозможена со воведување на апроксимации кои можат да влијаат на точноста на резултатите, па затоа е потребно и експериментално потврдување на истите по изградба на далекуводот.

Во трудот дадени се мерната метода и по неа одредените параметри на далноводот. Овие мерења за првпат се изведоа во нашата земја на еден капитален објект, на ЈП"Електростопанство на Македонија" каков што е далноводот 400 kV Битола 2 - Скопје 4.

Клучни зборови: Надземен вод, отпор, реактанса, импеданса, капацитет

ABSTRACT

The calculation of the parameters of the transmission line is enabled through approximations which are able to influence on the accuracy of the results. According to this, an experimental approve of the parameters is required, after the construction is done.

Here is presented a measuring method and the parameters resulting from it.

These measurings are performed for the first time in our country and in Electric Power Company for an essential facility such as 400 kV transmission line Bitola 2 – Skopje 4

KEYWORDS: overhead line, effective resistance, inductance, capacitance, and impedance

1. **ВОВЕД**

Одредувањето на параметрите на далноводот е потребно за да се изврши пресметка на струјата на куса врска, падот на напонот, губитоците во моќност, проучувањето на тековите на енергијата и стабилноста на системот, појавата на пренапони, правилното подесување на релејната заштита и слично.

Параметрите на далноводот зависат од пресекот, геометрискиот распоред и растојанието помеѓу проводниците, од бројот и распоредот на заштитните јажиња, од одалеченоста на проводниците од земјата, од отпорот на заземјувањето на столбовите и друго.

Експерименталното одредување на параметрите на далноводот се врши со мерна метода “напон - струја”. Еден од начините на мерењето е со користење на напојна мерно регулациона - апаратура приклучена на НН електрична мрежа (380 V, 50 Hz) т.е. мерење при низок напон со користење на вообичаена мерна апаратура (амперметри, волтметри, ватметри и друг прибор).

Анализата на грешката при мерењето на користената мерна метода укажува дека истата е мала.

2. **МЕРНА МЕТОДА**

Во ова поглавје ќе дадеме краток приказ на мерната метода со чија помош на директен или индиректен начин ги определуваме параметрите на Далекуводот 400 kV “Битола 2 - Скопје 4”.

2.1. **Мерење активни отпори, реактанси и импеданси на систем со директен редослед**

За мерење на директните активни отпори, директните реактанси и директните импеданси ја користиме мерната метода “напон - струја” чии начин на поврзување е прикажан на електричната шема на слика 1

Мерењето на струјата, напонот и моќноста се извршува помеѓу фазите 0-4, 0-8 и 4-8.

Пресметката на параметрите на системот со директен редослед, користејќи ги резултатите од мерењето, ја вршме со следните изрази:

- импенданса помеѓу фази

$$Z_{0,4} = \frac{U_{0,4}}{I_{0,4}} \quad Z_{0,8} = \frac{U_{0,8}}{I_{0,8}} \quad Z_{4,8} = \frac{U_{4,8}}{I_{4,8}}$$

- директна импенданса по фаза

$$Z_0 = \frac{1}{2} (Z_{0,4} + Z_{0,8} - Z_{4,8})$$

$$Z_4 = \frac{1}{2} (Z_{0,4} + Z_{4,8} - Z_{0,8})$$

$$Z_8 = \frac{1}{2} (Z_{0,8} + Z_{4,8} - Z_{0,4})$$

- средна директна импенданса по фаза (аритметичка средина)

$$Z_d = \frac{Z_0 + Z_4 + Z_8}{3}$$

- активен отпор меѓу фази

$$R_{0,4} = \frac{P_{0,4}}{I_{0,4}^2} \quad R_{0,8} = \frac{P_{0,8}}{I_{0,8}^2} \quad R_{4,8} = \frac{P_{4,8}}{I_{4,8}^2}$$

- активен директен отпор по фаза

$$R_0 = \frac{1}{2} (R_{0,4} + R_{0,8} - R_{4,8})$$

$$R_4 = \frac{1}{2} (R_{0,4} + R_{4,8} - R_{0,8})$$

$$R_8 = \frac{1}{2} (R_{0,8} + R_{4,8} - R_{0,4})$$

- среден директен активен отпор по фаза сведен на 20°C

$$R_{d,20^{\circ}\text{C}} = \frac{R_0 + R_4 + R_8}{3} \cdot \frac{1}{1 + 0,004 (t_M - 20^{\circ}\text{C})}$$

- директна реактанса по фаза

$$X_0 = (Z_0^2 - R_0^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$X_4 = (Z_4^2 - R_4^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$X_8 = (Z_8^2 - R_8^2)^{\frac{1}{2}}$$

- средна директна реактанса по фаза сведена на $f = 50 \text{ Hz}$

$$X_{d,50\text{Hz}} = \frac{X_0 + X_4 + X_8}{3} \cdot \frac{50}{f_M}$$

- средна директна импенданса по фаза сведена на 20°C и 50 Hz

$$Z_{d,20^{\circ}\text{C},50\text{Hz}} = (R_{d,20^{\circ}\text{C}}^2 + X_{d,50\text{Hz}}^2)^{\frac{1}{2}}$$

2.2. Мерење активни отпори, реактанси и импенданси на систем со нулти редослед

За мерење на нултите активни отпори, нултите реактанси и нултите импенданси ја користиме мерната метода “напон - струја” чии начин на поврзување е прикажан на електричната шема на слика 2.

При овој начин на поврзување се извршува само едно мерење на струјата, напонот и моќноста.

Пресметката на параметрите на системот со нулти редослед, користејќи ги резултатите од мерењето, ја вршиме на следниот начин:

- нулта импеданса

$$Z_0 = \frac{3U}{I}$$

- нулти активен отпор

$$R_0 = \frac{3P}{I^2}$$

- нулти активен отпор сведен на 20°C

$$R_{0,20^\circ\text{C}} = \frac{R_0}{1 + 0,004 (t_M - 20^\circ\text{C})}$$

- нулти реактанса сведена на f = 50 Hz

$$X_{0,50\text{Hz}} = (Z_0^2 - R_0^2)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{50}{f_M}$$

- нулта импеданса сведена на 20°C и f = 50 Hz

$$Z_{0,20^\circ\text{C},50\text{Hz}} = (R_{0,20^\circ\text{C}}^2 + X_{0,50\text{Hz}}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Ако отпорите на заземјувањата на двете разводни постројки имаат релативно висока вредност, тогаш R₀ се смалува за вредноста на овие отпори, а исто така се корегира и нултата импеданса.

$$R'_0 = R_0 - (R_{z1} + R_{z2}) \qquad X'_0 = X_0$$

$$Z'_0 = (R'^2_0 + X'^2_0)^{\frac{1}{2}}$$

Пресметаните корегирани вредности се сведуваат на 20°C и f = 50 Hz.

2.3. Мерење активни отпори, реактанси и импеданси на струен круг фаза – земја

Ова мерење служи како проверка на претходните.

Шемата на врзување е како на слика 2 со таа разлика што се одвоени фазите на почетокот на водот т.е. се врши мерењето на секоја фаза (три мерења).

- импеданса на спојот фаза - земја

$$Z_n = \frac{U}{I}$$

- активен отпор на спој фаза - земја

$$R_n = \frac{P}{I^2}$$

- реактанса на спој фаза – земја

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2}$$

Одредувањето на средните вредности од трите мерења, пресметката на коригираните вредности поради релативно високи отпори на заземјување, сведувањето на резултатите на 20°C и $f = 50\text{Hz}$ се врши исто како во претходните мерења.

2.4. Мерење погонски и доземни капацитети

Погонските и доземните капацитети се одредуваат врз база на две мерења. На сликата 3 прикажана е првата шема на мерење. Од мерењето на I' и U' се одредува

еквивалентен капацитет C' со изразот: $C' = \frac{I'}{\omega U'}$

На слика 4 прикажана е втората шема на мерење. Од мерењето на I'' и U'' се одредува еквалитетниот капацитет C'' во изразот: $C'' = \frac{I''}{\omega U''}$

Погонскиот капацитет го пресметуваме со изразот

$$C_p = 2 C' - \frac{C''}{2}$$

Доземниот капацитет го пресметуваме со изразот

$$C_z = C'' - C'$$

2.5. Постапка за изведување на мерењето

Опишаната метода за мерење може да се користи при убаво и стабилно време вдоль целиот далекувод поради опасност од атмосферски пренапони. Пред почетокот на мерењето треба да се проверат надворешните влијанија со мерење и истите ако се утврдат да се компензираат. При спојувањето на мерните инструменти и апаратура во потребната шема далноводот треба да е заземјен.

За манипулациите околу заземјувањето овде мора да се заблагодариме на далекуводните групи во Битола и Скопје кои се во состав на подружница “Електропренос”.

При мерењето треба да се користи мерно регулациона апаратура која ќе овозможи регулирање на напонот од 0 - 400 V и струја до 15A.

Инструментите (амперметри, волтметри и ватметар) што се користат при мерењето треба да се со класа на точност мин.0,5.

3. ОДРЕДУВАЊЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ДАЛНОВОДОТ СО МЕРЕЊЕ

Користејќи ја прикажаната мерна метода, мерна екипа организирана од РЖС - Скопје и ЈП "ЈП"ЕСМ" изврши мерење и пресметка на активните отпори, реактансите и импедансите на системите со директен и нулти редослед и на системот фаза - земја, како и на погонските и доземните капацитети.

3.1. Користени апарати и инструменти

За експериментално одредување на параметрите на далекуводот истиот беше приклучен на мерно - регулациона напојна апаратура која овозможуваше континуирано менување на напонот при што се добиваа мерни вредности на различни напонски нива (200V, 300V и 400V) при што мерената струја и моќност соодветно се зголемуваше.

При мерењето беа користени следните апарати и инструменти:

- регулационен трансформатор 0 – 250V, 3500 VA
- разделен трансформатор 220/380 V, 3500 VA
- амперметар за наизменична струја тип: ФFL0120, производство "Искра" со мерни подрачја 6; 3; 1,2; 0,6 A со класа на точност 0,5
- волтметар за наизменична струја тип: FLO 125, производство "Искра", мерни подрачја 60; 120; 300; 600 V со класа на точност 0,5
- феродинамичен ватметар тип: EL2, производство "Искра", струјно мерно подрачје 2,5; 5A, напонско мерно подрачје 150; 300; 450; 600 V, со класа на точност 0,5.

3.2. Основни метеоролошки услови

Дата на мерење:	29 и 31 Октомври 1996 година
Период на мерење:	16 до 22 часот
Почва:	влажна
Време:	стабилно
Температура на околината:	2 ⁰ C

3.3. Резултати од мерењето и пресметката

Резултатите од мерењето и пресметката на параметрите на ДВ 400kV "Битола 2 - Скопје 4" се прикажани во Табела 1. Во првата колона од табелата редоследно се внесени параметрите на водот, во втората колона се прикажани нивните симболни ознаки, во третата колона се наоѓаат вкупните средни вредности на параметрите по фаза сведени на $t = 20^{\circ}\text{C}$ и $f = 50\text{Hz}$ и во четвртата колона се прикажани средните вредности на параметрите по фаза и единица должина од далноводот. На нумеричките вредности им соодветствуваат мерни единици. Должината на далноводот No 447 е 113,5 км.

Табела 1

Параметар	Ознака	Вкупна должина (Ω / f)	Единична должина ($\Omega / f / \text{км}$)
- директен активен отпор	(R_d)	4.181	0.0368
- директна реактанса	(X_d)	36.3696	0.32
- директна импеданса	(Z_d)	36.61	0.3225
- нулти активен отпор	(R_o)	40.857	0.3599
- нулта реактанса	(X_o)	111.21	0.9798
- нулта импеданса	(Z_o)	118.477	1.0438
- активен отпор фаза – земја	(R_n)	18.0	0.1586
- реактанса фаза – земја	(X_n)	61.27	0.5398
- импеданса фаза – земја	(Z_n)	63.86	0.5626

		Вкупна должина ($\mu\text{F} / f$)	Единична должина ($\mu\text{F} / f$)
- погонски капацитет	(C_p)	1.32	0.0116
- доземен капацитет	(C_z)	0.82	0.007229

* ЗАБЕЛЕШКА

Не е извршена, корекција на R_0 за вредностите на R_{Z1} и R_{Z2} , (вредностите на R_{Z1} и R_{Z2} при мерењето ни беа непознати)

ЗАКЛУЧОК

Вредностите на параметрите на ДВ 400kV “Битола 2 - Скопје 4” добиени со мерење и пресметка, кои се прикажани во Табела 1, потребно е да се споредат со соодветните вредности добиени по аналитички пат (компјутеризирани методи) за да може искуството од споредувањето да се вгради во следните проектантски задачи, а ваквите експериментални мерења треба да станат пракса на ЈП"Електростопанство на Македонија", барем за објектите од повисоко напонско ниво.

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ, СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО-СИГРЕ

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж, Електротехнички факултет – Скопје
м-р Мирко Тодоровски, дипл. ел. инж., ИЦЕИ при МАНУ – Скопје

ЗАГУБИ НА МОЌНОСТ И ЕНЕРГИЈА ВО ЗАШТИТНИТЕ ЈАЖИЊА НА ВОДОВИТЕ 400 КВ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

КРАТКА СОДРЖИНА

Надземните водови со висок и највисок напон ($U_n \geq 110$ kV), по правило, се изведуваат со едно или пак со две громобрански т.е. заштитни јажиња. Овие јажиња се поставуваат на врвот од столбот така што тие имаат несиметрична положба во однос на фазните спроводници. Поради тоа во нив практично секогаш ќе течат некакви струи, предизвикани од индуцираните е.м. сили, создадени од работните струи во фазните спроводници. Тие индуцирани струи ќе претставуваат извор на дополнителни загуби на активна моќност и енергија, кои во низа случаи можат да бидат споредливи по својата големина со цуловите загуби во фазните спроводници.

Во трудот е најнапред анализирана големината на тие загуби како и мерките за нивното смалување. Прикажани се некои од можните начини на заземјување на заштитните јажиња како и ефектите што се постигнуваат со нивната примена во смисла на смалување на загубите во заштитните јажиња. На крајот е извршена пресметка на загубите на моќност и енергија во 400 kV водови на Република Македонија. Се констатира дека изборот на најсоодветниот начин на заземјување на заштитните јажиња треба да биде базиран на претходно направена техничко-економска анализа во која, покрај цената на дополнителните инвестиции сврзани со изведбата на заземјувачкиот систем, ќе биде земена предвид и цената на загубите на моќност и енергија во самите заштитни јажиња.

SUMMARY

High voltage (HV) and extra high voltage (EHV) transmission lines are protected against direct lightning strokes by means of one or two ground wires. Because of the existence of mutual coupling between the ground wires and phase conductors, phase currents induce voltages and currents in the ground wires even under normal operating conditions. In cases of EHV lines with two ground wires, those currents can overtake several tenths' amperes. That way, power losses in ground wires are getting considerable and comparable with the losses in the phase conductors.

A short review of some existing manners of earthing the ground wires of the HV and EHV is presented in this paper. Effects of the different manners of earthing the ground wires on the power losses in them and some technical problems relating those different manners of earthing are also presented in the paper. Finally, power and energy losses in 400 kV transmission lines in

Macedonia are computed in the paper. According to the authors, the right choice of the grounding system of the EHV transmission lines should be based on the appropriate cost–benefit analysis, taking into account all costs for the grounding system, including the costs of the power losses in it.

Клучни зборови: надземен вод, заштитни јажиња, индуцирани напони и струи, загуби во заштитните јажиња.

1. ВОВЕД

Заради остварување ефикасна заштита од директни атмосферски празнења во фазните спроводници, заштитните јажиња (ЗЈ) кај надземните водови (НВ) се поставуваат на самите врвови од столбовите на водот што е можно повисоко. Надземните водови со висок и највисок напон ($U_n \geq 110 \text{ kV}$), по правило, се изведуваат со едно или пак со две заштитни јажиња. Тие се, значи, поставени несиметрично во однос на фазните спроводници поради што во нив ќе течат некакви струи предизвикани од индуцираните е.м. сили, кои пак од своја страна се создадени од работните струи во фазните спроводници. Затоа секогаш, дури и во нормален и симетричен режим на работа, во ЗЈ ќе течат некакви струи и ќе се остваруваат некакви загуби на активна моќност и енергија.

Кај надземните водови со заштитни јажиња изработени од челик, поради нивната релативно висока активна и индуктивна отпорност, тие струи се доста мали и изнесуваат сè на сè само неколку ампери, поради што загубите на моќност и енергија во нив ќе бидат занемарливи. За разлика од нив, кај надземните водови со две заштитни јажиња изработени од добро спроводни електроматеријали (алуминиум и негови легури), а такви се практично сите надземни водови со номинален напон $U_n > 110 \text{ kV}$, индуцираните струи во заштитните јажиња можат да достигнат вредност и од неколку десетини ампери. Како такви тие ќе претставуваат извор на дополнителни загуби на активна моќност и енергија кои се честопати споредливи по својата големина со цуловите загуби во фазните спроводници.

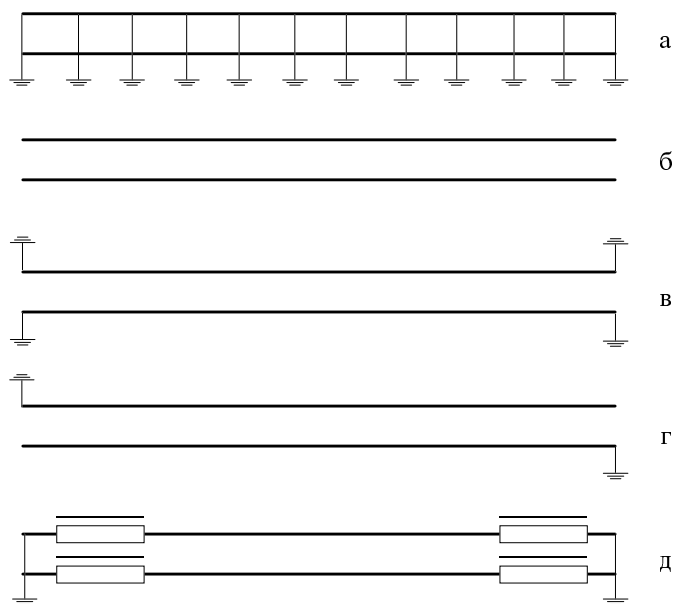
Заштитните јажиња на НВ со висок и највисок напон ($U_n \geq 110 \text{ kV}$) можат да бидат заземјени на разни начини. Тоа зависи од номиналниот напон U_n и должината на НВ, барањата во поглед на преносот на информации со високофреквентни врски, мерките за ограничување на струите во ЗЈ во некои специјални случаи и др. Бидејќи положбата на ЗЈ во однос на фазните спроводници е несиметрична, дури и во строго симетричен и урамнотежен режим на работа на НВ, фазните погонски струи ќе индуцираат е.м. сили во ЗЈ. Од друга страна, заземјувачкиот систем (ЗС) на НВ, зависно од начинот на заземјување на ЗЈ, се состои од голем број формирани контури. Според горе изложеното во таквите контури секогаш, дури и во нормални услови на работа, ќе течат струи индуцирани од погонските струи во фазните спроводници. Големината на овие струи ќе биде пропорционална на вредноста на погонските струи во фазните спроводници од НВ, т.е. таа ќе биде пропорционална на пренесуваната привидна моќност со НВ. Наедно, таа ќе зависи и од геометрискиот распоред на спроводниците и ЗЈ на главата на столбовите од НВ.

Големината на индуцираните струи во ЗЈ ја определува и големината на загубите на моќност и енергија во нив, кои пак од своја страна понекогаш стануваат мерливи со загубите на моќност во фазните спроводници. Во таа смисла од практичен интерес се НВ со две ЗЈ, кај кои овие загуби можат да бидат значителни.

2. НАЧИНИ НА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ НА ЗАШТИТНИТЕ ЈАЖИЊА И ЗАГУБИ НА МОЌНОСТ ВО НИВ

Најнапред во трудов ќе биде даден преглед на некои од почесто применуваните начини на заземјување на ЗЈ кај НВ за највисок напон со две ЗЈ а ќе бидат прикажани и можностите за смалување на загубите на активна моќност и енергија во нив. На сликата 1 се прикажани некои од најчесто применуваните начини на заземјување на ЗЈ на НВ со две ЗЈ. Од сите нив, во практиката најмногу се применува првиот начин (сл. 1 а) кај кој ЗЈ се заземјуваат на секое столбно место. Во тој случај потенцијалот на ЗЈ во однос на земјата е приближно еднаков на нула и не е неопходно специјално изолирање на јажињата од металната конструкција на столбовите што претставува наједноставен и најевтин начин за нивното прицврстување. Но на тој начин во заштитните јажиња во секој распон од НВ ќе образуваат по една контура, кусо врзана преку металната конструкција на столбот. Во секоја од така формираните контури ќе течат струи индуцирани од променливото магнетно поле создадено од трите фазни струи, што претставува извор на дополнителни загуби на моќност и енергија во ЗЈ.

Ако ЗЈ бидат целосно изолирани од земјата, како што е тоа прикажано на сликата 1 б, се избегнува формирањето на кусо врзаните контури и на тој начин загубите на моќност во ЗЈ се сведуваат практично на нула. Но целосното изолирање на ЗЈ од земјата е непожелно бидејќи тоа води кон усложнување на конструкцијата на столбовите. Освен тоа, појавата на опасни индуцирани напони во ЗЈ ја усложнува експлоатацијата на НВ и создава дополнителни проблеми.



Слика 1. Шеми на најраспространетите режими на работа на заштитните јажиња

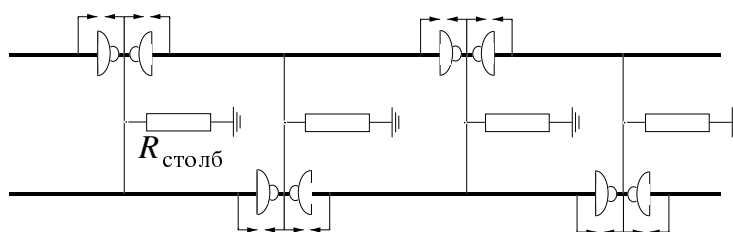
Доколку ЗЈ се изолирани по сета своја должина и се заземјени само на краиштата (сл. 1 в) тогаш повторно се образуваат кусо врзани контури, па поради нивното постоење ќе имаме загуби на моќност во ЗЈ. Карактеристично за овој начин на заземјување е тоа што во случај на атмосферско празнење и пробив на изолацијата на ЗЈ, доаѓа до појава на големи струи низ ЗЈ по целата нивна должина. Таквиот начин на заземјување се карактеризира, исто така, со појава на големи струи индуцирани од струите во фазните спроводници во некои специјални ситуации.

Ако пак секое ЗЈ се заземјат само на едниот негов крај, според шемата прикажан на сл. 1 г, тогаш поведението на ЗЈ ќе има карактеристики помеѓу оние од шемите на сликите 1 б и 1 в. Но кога се работи за должини на НВ над 20 km, на отворените краишта на ЗЈ може да се јават високи потенцијали, создадени од индуцираните е.м. сили во нив, што ќе создава проблеми во процесот на експлоатацијата на НВ.

Режимот најблизок до шемата од сликата 1 б ќе се добие ако ЗЈ се заземјат на краиштата преку специјални нискоомски високофреквентни ограничувачи на струјата [1], [2], како што е тоа прикажано на сликата 1 д.

2.1. Некои специјални случаи на заземјување

Кога НВ има две ЗЈ, заземјени на секој столб според сл. 1 а, во контурата јаже–јаже под дејство на индуцираните е.м. сили ќе протечат струи. Како резултат на тоа, загубите на моќност во ЗЈ можат да достигнат вредност и до 10% од цуловите загуби што се остваруваат во фазните спроводници [1], [2], [3]. Овие загуби можат целосно да се отстранат доколку ЗЈ наплно ги изолираме, како што е тоа прикажано на сл. 1 б или пак доколку при нивната монтажа на столбовите ја користиме шемата од сл. 2.

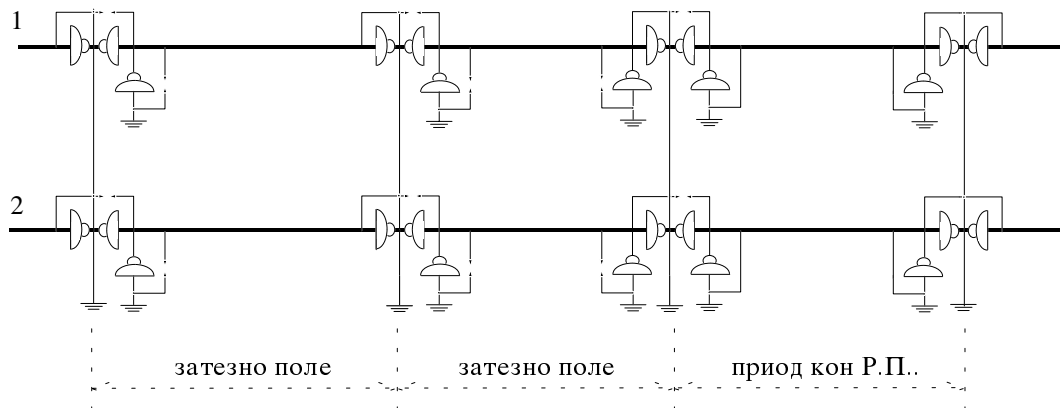


Слика 2. Делумно изолирање на заштитните јажиња

Ваквиот начин на изолирање на ЗЈ во однос на телото на столбовите осигурува поголема доверливост во споредба со начинот од сликата 1 б, кај кој тие се целосно изолирани. Искриштата коишто овде ќе треба да се применат за шентирање на изолаторите се пресметуваат така што да бидат во состојба да ја поднесат струјата на кусата врска без опасност од нивно оштетување. Наедно тие ќе треба да обезбедат сигурно гасење на лакот после ликвидацијата на кусата врска.

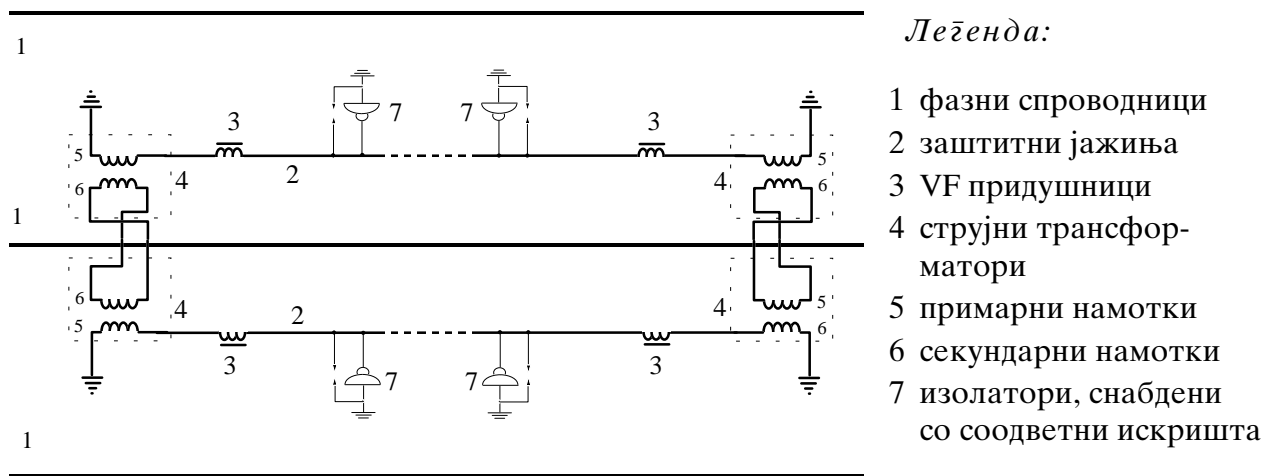
Кај шемите со делумно или со целосно изолирање на ЗЈ распределбата на струите на грешка во нив може да биде многу понеповолна во споредба со распределбата на струите што се добива кога ЗЈ се целосно заземјени (сл. 1 а) поради можноста само мал дел од искриштата да пробијат, и тоа оние кои се наоѓаат во близина на местото на грешката. Макар што се смета дека веројатноста за тоа е сосема мала, сепак во тој случај не треба да се исклучи можноста по едно од јажињата да протече практично сета струја на грешката, која во некои случаи може да изнесува и неколку десетини килоампери.

Кај НВ со номинален напон $U_n \geq 400 \text{ kV}$ се среќава и начинот на заземјување на ЗЈ како што е тоа прикажано на сликата 3 [3]. Кај него ЗЈ се изолирани од телото на столбот, односно земјата, со единечни капести изолатори шентирани со искришта кои имаат меѓуискрово растојание од околу 25 mm. Притоа, како што е тоа видно и од самата слика, тие се заземјуваат во секое затезно поле само на едниот негов крај, преку телото на затезните столбови. На приодите кон разводните постројки, заради сигурност, ЗЈ се заземјуваат директно на обата краја.



Слика 3. Делумно заземјување на заштитните јажиња

Во литературата се среќаваат резултати од истражувањата и на други начини за ограничување на струите во ЗЈ и смалување на загубите на моќност и енергија во НВ. Некои од нив предвидуваат примена на дополнителни електротехнички уреди. Тоа се прави особено тогаш кога ЗЈ се користат и за целите на вискофреквентни (VF) врски [2]. Овој начин на смалување на загубите е можен тогаш кога спроводниците на едносистемскиот НВ имаат хоризонтален распоред и се поставени симетрично во однос на оската на НВ која е наедно оска на симетрија и за самите ЗЈ. Јажињата, пак, се заземјени на краиштата преку VF придушници, како што е тоа илустрирано на сликата 1 д. Една таква шема, според [2], е прикажана на сликата 4.



Леџенда:

- 1 фазни спроводници
- 2 заштитни јажиња
- 3 VF придушници
- 4 струјни трансформатори
- 5 примарни намотки
- 6 секундарни намотки
- 7 изолатори, снабдени со соодветни искришта

Слика 4. Заземјување на заштитните јажиња на краевите од НВ преку VF придушници

Во овој случај се претпоставува дека во нормален режим на работа на НВ индуцираните е.м. сили во ЗЈ се фазно изместени за агол близок до 180° . Поради тоа, при течење на погонските струи (50 Hz) низ намотките 5, во секундарните намотки 6 ќе се индуцираат е. м. сили исто така фазно поместени за 180° . Тогаш струјата во редно сврзаните секундарни намотки 6 на струјните трансформатори 4 ќе биде практично еднаква на нула а еквивалентата индуктивна отпорност на трансформаторите 4 ќе биде практично еднаква на индуктивната отпорност на гранката на магнетизирање. Колку е оваа отпорност поголема, толку помали ќе бидат струите низ заштитните јажиња 2, со што се постига загубите на моќност и енергија во нив да бидат занемарливи. Затоа, во нормални услови на работа, струите низ заштит-

ните јажиња се сосема мали бидејќи се тие ограничени од големата индуктивна отпорност на струјните трансформатори 4. На тој начин се обезбедува не само загубите во ЗЈ да бидат мали, туку и лесно гасење на електричниот лак при прескок на некое од искриштата во услови на појава на куси врски со земја. Сепак, оваа шема е применлива само кај НВ со две ЗЈ и е ефикасна само тогаш кога индуцираните е. м. сили во ЗЈ се практично во контрафаза, т.е. кога аголот помеѓу нивните фазори е приближно 180° , што не секогаш е исполнето.

За да се процени какви ефекти се постигаат со некои од споменатите начини на заземјување на ЗЈ во смисла на смалување на загубите во нив, во табелата I се прикажани вредностите на пресметаните загуби на активна моќност ΔP во ЗЈ кај 400 kV надземен вод долг 100 km со две ЗЈ од типот Al/[^] 95/55, кој пренесува чисто активна моќност од 800 MW, преземени од [1], односно [2]. Пресметките се вршени за следните три начини на заземјување на ЗЈ: класичен начин на заземјување кај кој обете ЗЈ се заземјуваат на секое столбно место и две варијанти на делумно заземјување кај кои едното ЗЈ е целосно изолирано а другото е делумно или целосно заземјувано. Притоа е варирана должината L_{ZP} на затезните полиња (ЗП). Како што е видно од оваа табела, некои од прикажаните варијанти на делумно заземјување на ЗЈ овозможуваат смалување на загубите на активна моќност и енергија во ЗЈ за три и повеќе пати во споредба со загубите коишто се остваруваат кај класичниот начин на заземјување на ЗЈ што е сврзано со значителни годишни заштеди на енергија и намалување на погонските трошоци на преносниот вод.

Табела I. Зависност на загубите на активна моќност во ЗЈ од начинот на заземјување на ЗЈ

Начин на заземјување на ЗЈ	Должина на ЗП L_{ZP} , km	Загуби ΔP kW
1. Класичен (двете ЗЈ се целосно заземјени)	/	310
2. Едното изолирано, другото целосно заземјено	/	175
3. Едното ЗЈ е изолирано а другото е заземјено на почетокот и на крајот од секое затезно поле	5	65
	10	110
	20	118

3. ЗАГУБИ НА МОЌНОСТ И ЕНЕРГИЈА ВО ЗЈ НА ВОДОВИТЕ 400 КВ ВО ЕЕС НА МАКЕДОНИЈА

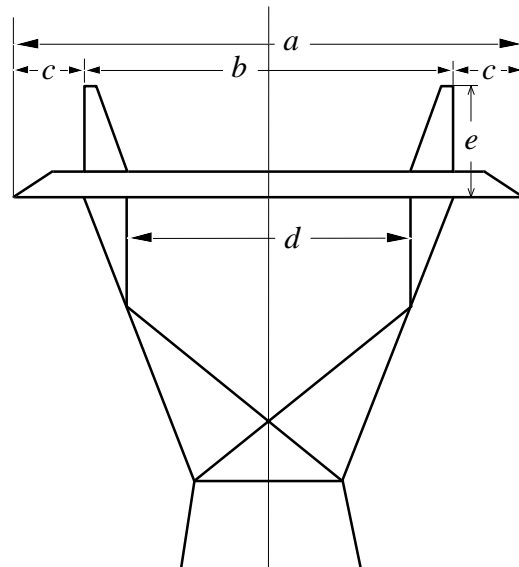
Во [4] е изложен сосема нов, оригинален, метод за пресметување на напоните и струите во полифазни преносни водови. Тој е генерален и без никакви упростувања и ограничувања може успешно да се применува и во случајот на 400 kV преносни водови, кои во контекст на горе кажаното ќе се третираат како петфазни системи. Притоа е овозможено анализираниот вод да се посматра автентично, во изворна форма, уважувајќи го фактичкиот (несиметричен) геометриски распоред на фазните спроводници и заштитните јажиња во целост, капацитивните и магнетските спреги помеѓу нив, повратниот пат на струјата низ земјата, заземјувачите на столбовите и др. Наедно, со неа е овозможено да се врши анализа на разните режими на работа на водот, вклучувајќи ги тука и случаите кога потрошувачите се несиметрични, т.е. кога фазните струи во водот образуваат несиметричен трифазен систем.

Заради комплексноста на проблемот и ограничениот простор, споменатиот модел за пресметка на состојбата во полифазните водови овде нема да биде прикажан.

Методот е применет за пресметување на состојбите во двата постојни 400 kV вода "Битола 2 – Дуброво" (83,3 km) и "Дуброво – Скопје 4" (81,4 km) како и во новоизградениот 400 kV далекувод Битола 2 – Скопје 4, долг 113,34 km. Првите два преносни вода се изградени со класични столбови, производ на "Енергоинвест-Сараево, чишто димензии се прикажани на сликата 5 односно во табелата II. За разлика од нив, последниот далекувод е изграден со сосема нова и современа фамилија столбови, производ на ЕМО–Охрид, кои имаат смалени димензии на главата, во т.н. "компактирана изведба". Нивните димензии се дадени, исто така, во табелата II. Како што е видно од оваа табела, растојанието помеѓу секои два соседни фазни спроводника кај него изнесуваат 8,5 m, што претставува новина во далекуводната техника кај нас. Кај останатите "класични" 400 kV далекуводи во Република Македонија како и кај 400 kV далекуводи во бившата СФРЈ, вообичаеното растојание помеѓу секои два соседни фазни спроводника изнесува околу 11 m.

Табела II. Димензии на главата на носечките столбови кај 400 kV далекуводи

Столб тип	<i>a</i> [m]	<i>b</i> [m]	<i>c</i> [m]	<i>d</i> [m]	<i>e</i> [m]
Нови, компактирани столбови, "ЕМО"–Охрид					
N-1	16,94	10,14	3,40	7,24	3,50
N-2	16,94	10,14	3,40	7,24	3,50
N-3	16,94	10,14	3,40	7,24	3,50
N-4	16,94	10,14	3,40	7,24	3,50
Класични столбови, "Енергоинвест"–Сараево					
Y2	20,40	12,00	4,20	7,60	3,70
Y4	21,52	14,10	3,92	7,60	3,50
Y6	21,52	14,10	3,92	7,60	3,50
Y8	19,00	10,50	4,25	7,60	3,50

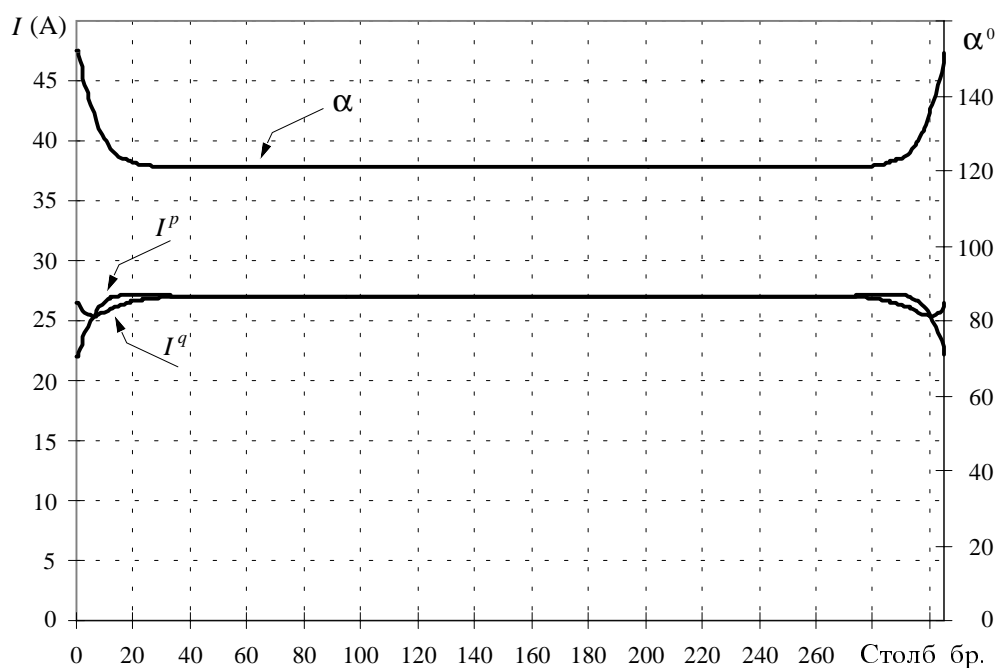


Слика 5. Скица на главата од столбовите 400 kV

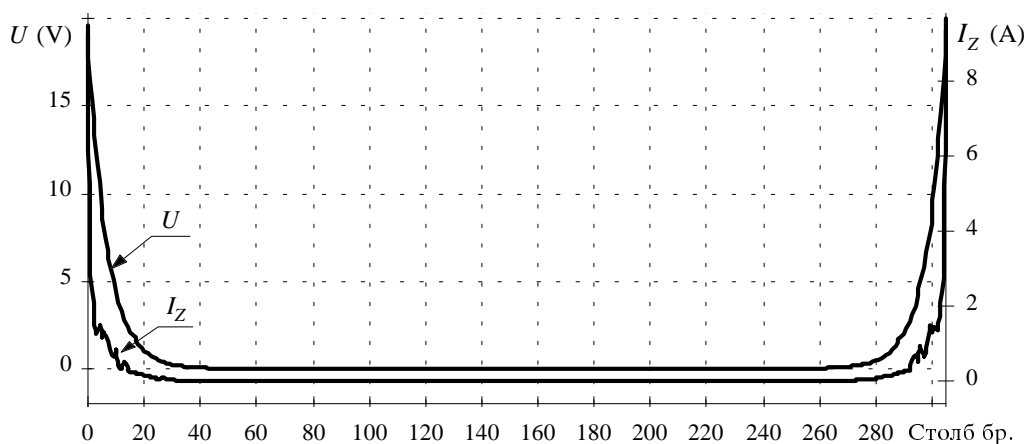
Фазните спроводници од разгледуваните далекуводи се изведени како снопови од по две јажиња $Al/\wedge 490/65$ според стандардот MKS N.C1.351, поставени на меѓусебно растојание $k = 40$ cm, додека заштитните јажиња се од типот AWG 19/9 $126,1$ mm². Изолаторските синџири кај сите 400 kV далекуводи се изведени со стаклени капести изолатори чија должина во просек изнесува 3,5 m. Пресметките покажаа дека од особена важност за точноста на пресметаните загуби во ЗЈ е да биде уважена вистинската разлика $\Delta f = f_p - f_{zj}$ на провесите на фазните спроводници и ЗЈ. Останатите податоци за овој вод како помалку релевантни, нема да бидат прикажани во трудов, но тие можат да се најдат во главните проекти на овие водови (нпр. [7] и [8] и сл.).

Како што е навестено и со називот на овој труд, за нас е од посебен интерес големината на струите индуцирани во ЗЈ како и загубите на активна моќност ΔP_{zj} во нив, за разни режими на работа на водот.

За да се утврди влијанието на степенот на оптовареност на водовите врз одделните анализирани величини, во рамките на овој труд се вршени пресметки на напоните и струите во заштитните јажиња за разни вредности на пренесуваната привидна моќност. Пресметките се правени со реалните вредности на отпорностите на распостирање на заземјувачите на столбовите и заземјувачите во постројките Битола 2, Дуброво и Скопје 4, преземени од [8]. Како илустрација на резултатите од ваквите пресметки, на сликата 6 е прикажана распределбата на модулите на струите I^p и I^q во ЗЈ по должината на водот како и распределбата на аголот α што го зафаќаат фазорите на тие струи. На сликата сликата 7 е прикажана распределбата на потенцијалите на заземјувачите и струите на одведување во земјата по должината на новоизградениот далекувод Битола 2 – Скопје 4 за случајот кога водот пренесува природна моќност $P = P_N = 543 \text{ MW}$ при $\cos \varphi_2 = 1$.



Слика 6. Распределба на струите во ЗЈ по должината на водот 400 kV Битола 2–Скопје 4 за случај кога тој пренесува природна моќност



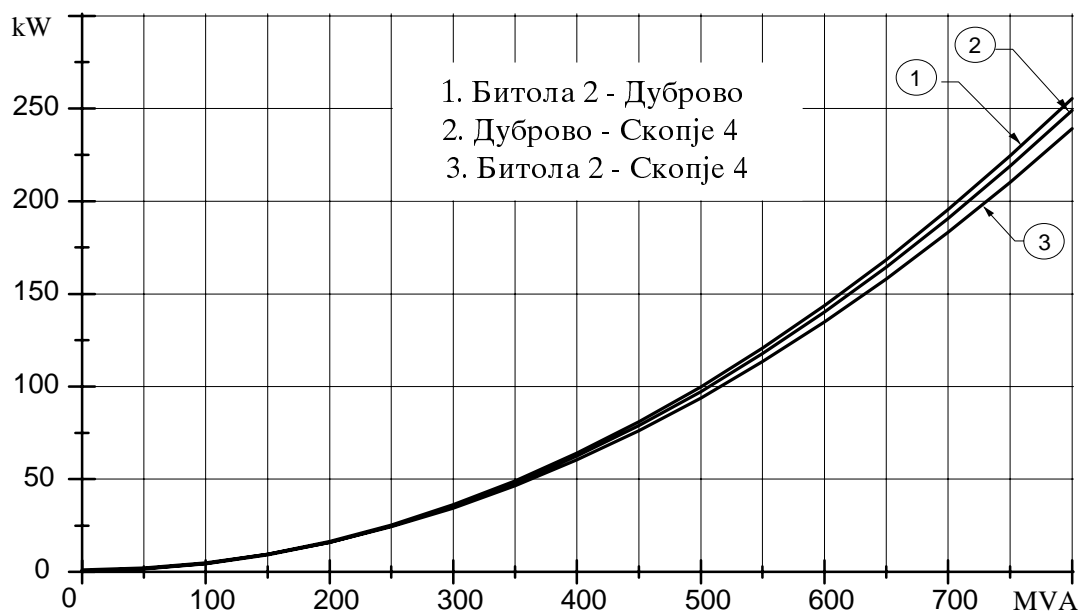
Слика 7. Рапределба на потенцијалот U на ЗЈ и струите I_z во заземјувачите од столбовите по должината на водот 400 kV Битола 2–Скопје 4

3.1. Загуби на моќност во заштитните јажиња

Во табелата III се прикажани пресметаните вредности на загубите на моќност во ЗЈ кај секој од разгледуваните 400 kV водови во зависност од пренесуваната привидна моќност, додека истите тие зависимости графички се прикажани на сл 8.

Табела III. Пресметани вредности на загубите на моќност (kW) во ЗЈ од 400 kV водови во ЕЕС на Р. Македонија, во зависност од пренесуваната моќност

S (MVA)	Битола 2–Дуброво	Дуброво–Скопје 4	Битола 2–Скопје 4
50	1,6	1,5	2,0
100	4,5	4,4	4,8
150	9,5	9,2	9,4
200	16,4	16,0	15,9
250	25,3	24,7	24,2
300	36,2	35,3	34,4
350	49,1	47,9	46,4
400	64,0	62,4	60,3
450	80,9	78,9	76,1
500	99,8	97,3	93,8
550	120,7	117,7	113,3
600	143,6	140,1	134,7
650	168,5	164,4	157,9
700	195,4	190,7	183,1
750	224,4	218,9	210,1
800	255,3	249,1	239,0



Слика 8. Зависност на загубите во заштитните јажиња (kW) од оптоварувањето (MVA) на 400 kV водови во Р. Македонија

Интересно е да се одбележи дека загубите ΔP_{ZJ} во ЗЈ кај "класичните" водови 400 kV кои имаат поголемо меѓуфазно растојание се, само поради понеповолната положба на ЗЈ во однос на фазните спроводници, поголеми во просек за околу 60% во однос на загубите кај новиот компактиран 400 kV вод Битола 2 – Скопје 4. Тоа укажува на фактот дека на големината на овие загуби големо влијание ќе има и распоредот на спроводниците и заштитните јажиња на главата на столбот.

Резултатите од пресметките покажуваат дека загубите на моќност што се остваруваат во ЗС од водот создадени од индуцираните струи во ЗЈ се должат, практично во целост, на загубите ΔP_{ZJ} во заштитните јажиња, бидејќи загубите во заземјувачите на столбовите, по правило, не ја надминуваат вредноста 0,5% од вкупните загуби во ЗС. Од тука произлегува заклучокот дека кога се работи за НВ со две ЗЈ изработени од добро спроводен материјал, вредноста на отпорностите на распростирање на заземјувачите од НВ и РП немаат практично никакво влијание врз големината на загубите во ЗС на НВ, што е и разбирливо бидејќи во тој случај индуцираните струи ќе циркулираат во контурата создадена од двете заштитни јажиња.

3.2. Годишни загуби на енергија во заштитните јажиња

Анализата на податоците од табелата II и дијаграмите од сл. 8 укажуваат дека помеѓу загубите на моќност ΔP_{ZJ} во ЗЈ и пренесуваната моќност на водот постои строго квадратна зависност. Тоа дава можност, познавајќи ја таа зависност за секој од нив, да се пресметаат на сосема едноставен начин и годишните загуби на енергија ΔW_{ZJ} во ЗЈ од овие водови, преку средноквадратната моќност $P_{sr.kv}$ или преку врвната моќност P_{max} и т.н. време на максимални загуби (време на загуби) на конзумот τ [5]:

$$\Delta W_{ZJ} = \Delta P_{ZJ sr.kv} \cdot 8760 = \Delta P_{ZJ max} \cdot \tau, \quad (1)$$

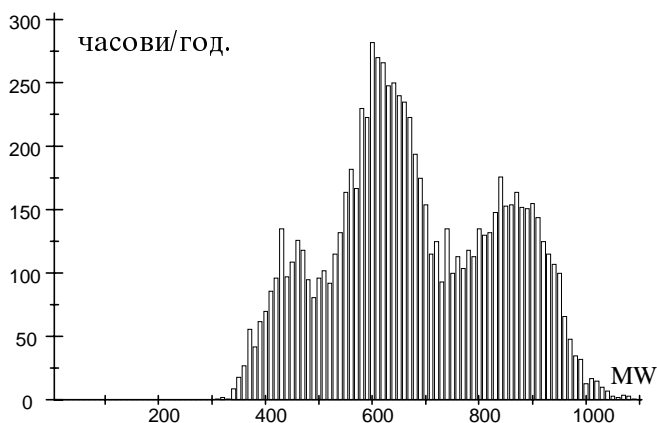
при што приближно, под претпоставка дека е $\cos \varphi \approx const.$, важи релацијата:

$$\frac{\Delta P_{ZJ sr.kv}}{\Delta P_{ZJ max}} = \frac{P_{sr.kv}}{P_{max}} = \frac{\tau}{8760}. \quad (2)$$

Во формулите (1) и (2) со $\Delta P_{ZJ max}$ и $\Delta P_{ZJ sr.kv}$ се означени загуби во ЗЈ во режимот на максимално, односно средноквадратно оптоварување – респективно.

На тој начин се пресметани годишните загуби на активна енергија во водовите 400 kV во ЕЕС на Р. Македонија за периодот 01.06.1995 – 31.05.1996 за кој биле познати средните саатни оптоварувања на целиот конзум.

Фреквентниот дијаграм на средните саатни оптоварувања за наведениот период е прикажан на сл. 9. Од познатите податоци за конзумот се гледа дека врвното оптоварување во ЕЕС на Р. Македонија за наведениот период изнесува $P_{max} = 1081$ MW. Останатите податоци за конзумот како и за загубите во системот се следните:



Слика 9. Фреквентен хистограм на конзумот од ЕЕС на Р. Македонија за периодот 01.06.1995 – 31.05.1996 г.

- Врвна привидна моќност на конзумот: $S_{\max} = P_{\max} + jQ_{\max} = (1081 + j404,8) \text{ MVA}$;
- Врвна моќност на изворите: $S_{G\max} = P_{G\max} + jQ_{G\max} = (1104,4 + j209,6) \text{ MVA}$;
- Ср. квадратно оптоварување во периодот 01.06.1995–31.05.1996: $P_{\text{sr.kv}} = 669,2 \text{ MW}$;
- Време на максимални загуби $\tau = (P_{\text{sr.kv}}/P_{\max})^2 \cdot 8760 = 3548 \text{ h}$.

Со пресметка на тековите на моќности во системот за режимот на врвното (максималното) оптоварување се добиени оптоварувањата на 400 kV водови. Нивните вредности се прикажани во табелата IV. Понатаму, врз основа на овие оптоварувања како и врз основа на податоците од табелата II се пресметани и загубите $\Delta P_{ZJ \max, i}$ во одделните водови за истиот тој режим. Тие се, исто така, прикажани во табелата IV. На тој начин се добиени и вкупните (сумарните) загуби $\Delta P_{ZJ \max}$ на моќност во ЗЈ во режимот на максималното оптоварување:

$$\Delta P_{ZJ \max} = 33,3 + 4,7 + 33,0 = 71 \text{ kW}.$$

Понатаму, со помош на релацијата (1) се пресметуваат и годишните загуби на активна енергија во ЗЈ од 400 kV водови:

$$\Delta W_{ZJ} = \Delta P_{ZJ \max} \cdot \tau = 71 \cdot 3548 = 251.908 \text{ kWh/год}.$$

Табела IV. Оптоварување на 400 kV водови во режимот на максимално оптоварување и загуби на моќност во ЗЈ

Вод	Активна моќност (MW)	Привидна моќност (MVA)	Загуби во ЗЈ (kW)
Битола 2 – Дуброво	281,2	286,7	33,3
Дуброво – Скопје 4	94,1	103,3	4,7
Битола 2 – Скопје 4	287,1	292,4	33,0

Сметајќи со актуелната просечна производна цена на електрична енергија во ЕЕС на Р. Македонија, која изнесува $c_{\Delta W} = 0,043 \text{ US\$/kWh}$, вредноста на овие загуби за периодот 1 јуни 1995 – 31 мај 1996 г. изнесува:

$$C = c_{\Delta W} \cdot \Delta W_{ZJ} = 0,043 \cdot 251908 = 10.832 \text{ US\$/год}.$$

4. ЗАКЛУЧОК

Високонпонските преносни водови се изведуваат со едно или две заштитни јажиња. Тие се, просторно гледано, несиметрично поставени во однос на фазните спроводници поради што при пренос на моќност во нив се индуцираат е. м. сили дури и во случајот кога товарот е строго симетричен. Овие е. м. сили протеруваат струи во целиот ЗС на НВ а тие струи се извор на дополнителни загуби.

Постојат разни начини на заземјување на ЗЈ кај НВ. Поважните од нив се изложени во трудов. Кај нас се применува, без исклучок, директно заземјување на ЗЈ на секое столбно место, што претставува технички наједноставно и најевтино решение, но посматрано од аспект на загубите во ЗС на НВ, наедно и најнеповолно.

Проценети се загубите на моќност и енергија во ЗС на типските преносни водови коишто се среќаваат во ЕЕС на Р. Македонија. Загубите на моќност во ЗЈ

кај водовите 110 и 220 kV кои се, по правило, изведени со ЗЈ изработени од челик, изнесуваат сè на сè само неколку киловати и како такви, тие се занемарливи во споредба со истите кај 400 kV НВ кои се изведени со по две алумовелдови ЗЈ од типот AWG 19/9 126,1 mm² и кај кои загубите можат да изнесуваат и неколку стотини kW. На ниво на 1995 година, загубите на моќност и енергија во ЗЈ кај 400 kV изнесувале 71 kW и 252.000 kWh респективно, што се проценува како загуба на околу 11.000 \$ годишно. Со сегашниот тренд на пораст на козумот, тие се наголемуваат во секоја наредна година за сса 6%, така што во 2000 година тие ќе изнесуваат околу 95 kW и 340.000 kWh/год., што би чинело нешто повеќе од 15.000 \$ годишно. Овие вредности во 2005 година ќе бидат поголеми за околу 34%, така што вкупните загуби на енергија во ЗЈ на 400 kV водови во Р. Македонија ќе чинат над 20.000 \$ годишно.

Од овде произлегува заклучокот дека изборот на најсоодветниот начин на заземјување на ЗЈ кај преносните водови треба да се врши врз основа на претходно извршена техничко–економска анализа, со која ќе бидат анализирани не само техничките карактеристики на споредуваните начини на заземјување, туку и нивните економски карактеристики. Притоа, во економските споредби, покрај цената на дополнителните уреди и зафати во ЗС на НВ, ќе треба да биде земена предвид и цената на загубите на моќност и енергија во самиот ЗС, соодветно валоризирани.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Р. Ачковски, В. Кирчев, *Загуби на моќност во заштитниите јажиња кај надземните водови со висок и највисок напон*. Зборник на трудови на Електротехничкиот факултет во Скопје, год. 21, бр 1–2, ЕТФ – Скопје, 1998.
- [2] С. Брацлавский, А. Гершенгорн, С. Лосев, *Специальные расчеты электропередач сверхвысокого напряжения*. Энергоатомиздат, Москва, 1985.
- [3] Н. Мельников, С. Рокотян, С. Шеренцис, *Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330 – 500 кВ*. Энергия, Москва, 1974.
- [4] Р. Ачковски, М. Тодоровски, *Нов метод за пресметување на загубите на моќност во заштитниите јажиња кај високонапонските надземни водови*. Зборник на трудови на Електротехничкиот факултет во Скопје, год. 21, бр 1–2, ЕТФ – Скопје, 1998.
- [5] Р. Ачковски, *Преносни и дистрибутивни системи*. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Електротехнички факултет, 1995, Скопје.
- [6] D. Raji~i}, R. Taleski, *Radial Distribution System Short Circuit Analysis Using Admittance Summation Method*. Proc. Dep. of Electrical Engineering – Skopje, Vol 19, No. 1–2, pp. 11–14, (1996).
- [7] Г. П. „Бетон“, Р. Е. „Институт за студии и проектирање – Скопје“, *Главен проект на 400 kV вод Битола 2 – Скопје 4*. Електро–дел, книга 1 – Технички извештај, Скопје, 1993.
- [8] Љ. Арсов, Р. Ачковски, Б. Ханџиски, *Главен проект на заземјувачкиот систем на далекуводот 400 кВ Битола 2 - Скопје 4*. Електротехнички факултет – Скопје, 1994.

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

Д-р Елизабета Бахтовска
М-р Елизабета Христовска
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ, Битола

НАМАЛУВАЊЕ НА ЕФИКАСНОСТА НА ПРИГУШУВАЊЕ НА
ПРОСТОРНИОТ ДАМПЕР ЗА СНОП ОД ДВЕ ПРОВОДНИ ЈАЖИЊА КАКО
ПОСЛЕДИЦА ОД АТМОСВЕРСКИТЕ ВЛИЈАНИЈА

Резиме

Предмет на истражување во овој труд е просторниот дампер за две проводни јажиња производ на фирмата DAMP - Италија. Дамперот е наменет за истовремено пригушување на вибрациите кај две проводни јажиња од една иста фаза кои се водат во сноп. Извршени се експериментални испитувања на динамичките карактеристики на дампер кој е исфрлен од употреба заради појавата на некои аномалии кај него по повеќегодишната употреба и направена е споредба со вредностите на динамичките карактеристики кај истиот дампер пред неговата употреба. При тоа се утврдени значителни разлики во големината на резонансната фреквенција на дамперот, трансверзалната крутост на гумениот елемент и коефициентот на пригушување, кој е најмеродавен за ефикасноста на дамперот.

Abstract

In this paper, the investigation of spacer damper produced by the DAMP company - Italy is presented. The damper is intended for simultaneous damping of vibrations of a bundle of two conductors of a single phase. Experimental investigations of the dynamic characteristics of a damper useless after several years serving are performed. These results are compared with the values of the dynamic characteristics of the same damper before usage. Therefore, big differences in the values of the resonant frequencies, transverse stiffness and the damping coefficient which is the most important for the damping of the damper are found.

Клучни зборови

дампер, пригушување, коефициент на пригушување, трансверзална крутост, резонансна фреквенција

1. ВОВЕД

Употребата на снопови проводни јажиња за пренос на електричната енергија кај далекуводите со голема преносна моќ, ја наложи потребата од користење на просторни дамperi, чија основна цел е не само да ги држи проводните јажиња на определено растојание туку и да врши пригушување на вибрациите што се јавуваат кај нив. Основен составен дел на просторниот дампер е гумениот зглоб, кој ги поврзува краците на дамперот со централното куќиште. Гумениот зглоб е изработен од синтетички полимер, (*EPDM* еластомер, со состав терполимер - етилен, пропилен и диен). Во трудот е прикажано влијанието на атмосферските услови врз ефикасноста на пригушување на дамперот, вклучувајќи ги високите и ниски температури, зголемената концентрација на озон, ултравиолетови зраци снег и мраз. За таа цел експериментално се определени основните динамички карактеристики на дамперот по повеќегодишната употреба (сопствени фреквенции, трансверзална крутост и коефициент на пригушување) и истите се споредени со динамичките карактеристики на истиот дампер пред неговата употреба.

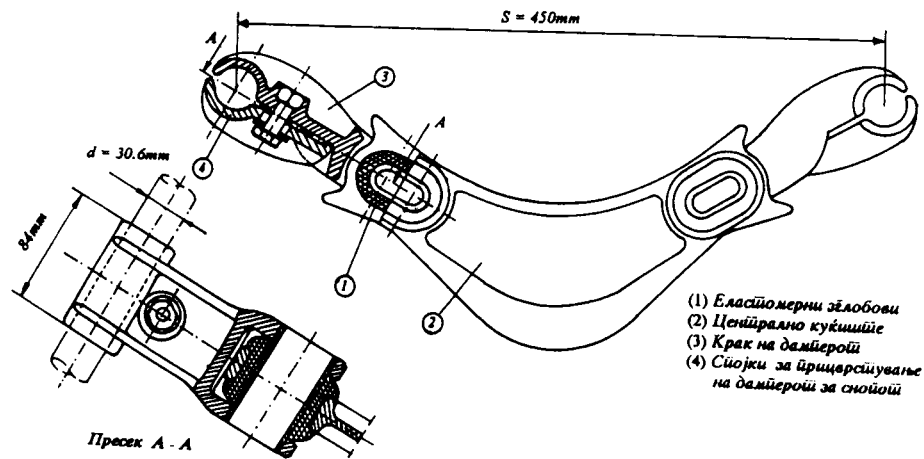
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ДИНАМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ДАМЕРОТ *DAMP*

Експерименталните испитувања на динамичките карактеристики на дамперот се изведени во лабораторијата за динамички испитувања при Институтот за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија - Скопје. Опремата со која се изведени експерименталните испитувања за определување на трансверзалната крутост на гумените елементи на дамперот, претставува интегрален електрохидрауличен систем, конципиран како симулатор на динамички побуди. Водењето на квазистатичките испитувања е вршено преку контрола на поместувањата во правец на дејство на силата, која се обезбедува со хидраулична преса чија максимална сила на притисок е 1000 kN . Мерната опрема беше директно врзана за компјутерскиот систем кој овозможи собирање на податоците во сите фази од експериментот, со истовремено визуелно контролирање на зависноста на силата од поместувањето ($F-\delta$) преку плотер.

За определување на сопствените фреквенции на вибрирање на дамперот, како и коефициентот на пригушување на истиот, користена е малата виброплатформа со хармониска побуда, кој може да предизвикува хармониски вибрации во хоризонтален или вертикален правец во фреквентен дијапазон од 1 до 70 Hz .

Опремата за регистрација која е користена при испитувањето се состои од сензори на акцелерација, систем за засилување на сигналите и систем за регистрација на одговорот во временски и фреквентен опсег. Како сензори за акцелерација користени се акцелерометри од типит "*ENDEVCO*" со соодветен засилувач. Динамичкиот опсег на акцелерометрите изнесува 25g . Регистрација на сигналите е вршена со фреквентен анализатор.

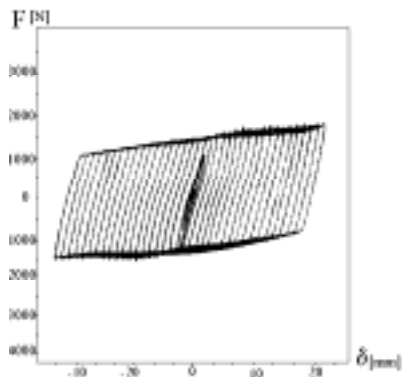
Шематски приказ на испитуваниот дампер е прикажан на сл.2.1



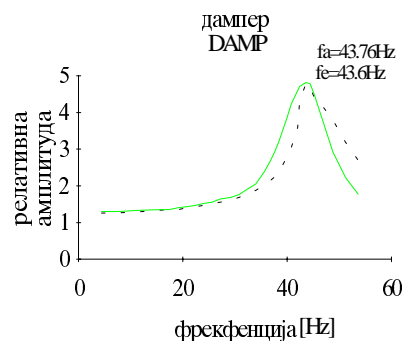
Сл. 2.1. Просторен дампер за две проводни јажиња DAMP

3. РЕЗУЛТАТИ ОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИСПИТУВАЊА

Во продолжение се прикажани резултатите од експерименталните испитувања на просторниот дампер DAMP изведени на дампер по повеќегодишна негова употреба. Дадени се хистерезисниот дијаграм на гумениот елемент на дамперот од кој што се определува трансверзалната крутост на дамперот и амплитудно фрекцентната крива на одговорот на крајната точка на дамперот од која што се определува резонансната фреквенција на дамперот и неговиот коефициент на пригушување. Во Табела I, добиените резултати се споредени се податоците за истиот тој дампер пред неговото поставување на снопот проводни јажиња.



Сл.3.1 Хистерезисни дијаграми на гумениот елементи на просторниот дампер



Сл.3.2 Амплитудно фрекцентни карактеристики на дамперот

Табела I

Тип на дампер	Резонансна фрек. на дамперот [Hz]	Коефициент на пригушување (%)	Трансверзална крутост [Nm^{-1}]
DAMP (пред употреба)	18.31	11.1	5350
DAMP (по употреба)	43.76	9.2	16100

4. ЗАКЛУЧОК

Од споредбата на резултатите добиени со експерименталните испитувања на веќе употребуван просторен дампер *DAMP* и резултатите за истиот тој дампер пред неговото поставување на снопот проводни јажиња можат да се изведат следните заклучоци:

- коефициентот на пригушување на просторниот дампер по употребата е намален само за околу 2%, што не е основна причина заради која дамперот е отстранет од употреба.

- трансверзалната крутост на дамперот е околу три пати зголемена како последица на стареењето на гумата

- резонансната фреквенција на дамперот е исто така за околу два и пол пати зголемена како последица на зголемената крутост на дамперот

Значи како последица од стареењето на гумата од влијанието на атмосферските услови, гумата ја губи својата еластичност а со тоа и способноста на дамперот за пригушување на опасните вибрации на снопот проводни јажиња на кој е поставен се намалува. Зголемувањето на сопствената фреквенција на дамперот условува истиот да работи во област на фреквенции која не е критична за снопот, (критична област на фреквенции е во фреквентниот дијапазон од 0 - 20 Hz). Тоа значи дека дамперот не е "побуден" за да превзема дел од енергијата на снопот да ја троши преку сопствените вибрации.

Во последно време истражувањата се насочени кон употребата на различни комбинации на силиконски гуми како пригушувачки елементи на просторните дамperi. Испитувањата покажале дека силиконските гуми ги задржуваат подолго време основните карактеристики непроменети дури и под влијание на екстремни климатски услови.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Salmon N., Taylor C., "The hyperdamper", Department of aerospace engineering, University of Bristol, 1987.
- [2] Jamaledine A., Rouselet J., "Dynamic response of two conductor bundle to aeolian excitation", Electric Power systems Research", 1988.
- [3] Jamaledine A., "On the measurement of some dynamics properties of spacer damper for conductor bundles", Canadian electrical association transmission section meeting, Calgary, Alberta, 1983.

Д-р Елизабета Бахтовска
Д-р Мирка Радевска-Попниколовска
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ, Битола

ДИНАМИЧКА РАСПРЕДЕЛБА НА ДИЛАТАЦИИТЕ КАЈ НАДЗЕМНИ ВОДОВИ ШТО СЕ ВОДАТ ВО СНОП

Резиме

Во трудот е прикажана врската што постои помеѓу дилатациите при динамичко оптоварување на надземните водови и тие што се јавуваат кај вклетени затегнати греди со кружен попречен пресек кои се изложени на вибрации. Користена е методата на трансфер матрици за определување на максималните дилатации во точките на обесување на проводните јажиња и точките на поставување на дамперот вдоль снопот. Прикажани се исто така и резултатите од експерименталните истражувања на дилатациите на сноп од две проводни јажиња со должина од 19.5 м. опремен со просторен дампер. Експерименталните испитувања се изведени во лабораторијата за динамички испитувања при ИЗИИС - Скопје.

Abstract

This paper deals with the correlation which exists between the dynamic strains occurring in overhead stranded cables and those occurring at the rigidly clamped extremities on vibrating taut circular beams. The transfer matrix method is used for determination of the maximum strains occurring on the span at span extremities and at the fixation points of the dampers. The results of the experimental investigations of the strains of a 19.5 m twin bundle equipped with spacer dampers are also shown. Experimental tests were performed at the dynamic testing laboratory of IZIS - Skopje.

Клучни зборови

дилатации, сноп проводни јажиња, дампер

1. ВОВЕД

Експерименталните испитувања на крутоста на проводното јаже што вибрира определена од резонансните фреквенции [1], покажува дека дека таа изнесува половина од вредноста што е добиена од пресметките направени со претпоставка дека поодделните жици на јажето не се лизгаат една во однос на друга и дека попречниот пресек на јажето се движи во целина. Пресметките направени под претпоставка дека секоја жица во јажето се движи поодделно, даваат вредности за крутоста од 1.5-2.0 проценти од онаа добиена кај хомогената греда. Оддука идејата, распределбата на динамичките дилатации кај проводните јажиња да се испитува со помош на распределбата на дилатациите кај хомогена греда.

2. ДИНАМИЧКА РАСПРЕДЕЛБА НА ДИЛАТАЦИИТЕ КАЈ ХОМОГЕНА ГРЕДА

За анализа на дилатациите кај греда вклетена на двата краја и изложена на вибрации се прават следните претпоставки:

- Гредата се избира да биде хомогена со кружен попречен пресек, константна маса m и константна крутост по целиот распон EJ ;

- Се усвојува константна сила на затегнување на гредата S ;

- Дилатациите се определуваат кога гредата вибрира на било која од нејзините сопствени фреквенции, т.е. при еден од нејзините главни облици на вибрирање;

Парцијалната диференцијална равенка што го опишува движењето на гредата е:

$$EJ \frac{\partial^2 u}{\partial x^4} - S \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

Ако се усвои $u(x,t) = W(x)\psi(t)$, тогаш:

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \psi_0 \sin(\omega t + \beta) \\ W(x) &= A \sinh zx + B \cosh zx + C \sin ax + D \cos ax \end{aligned} \quad (2)$$

каде ω е една од резонансните фреквенции на гредата, ψ_0 и β се константи што зависат од почетните услови, а A , B , C и D , константи што зависат од крајните услови на потпирање на гредата. Големините a и z зависат од фреквенцијата на следниот начин:

$$z = \sqrt{\frac{S}{2EJ} + \sqrt{\frac{S^2}{4E^2 J^2} + m \frac{\omega^2}{EJ}}} \quad a = \sqrt{-\frac{S}{2EJ} + \sqrt{\frac{S^2}{4E^2 J^2} + m \frac{\omega^2}{EJ}}} \quad (3)$$

Од јакоста на материјалите, познати се следните релации помеѓу поместувањето, наклонот, моментот и резултантата на сите сили што дејствуваат на попречен пресек на растојание x вдолж распонот:

$$\begin{aligned}
\varphi(x) &= -W'(x) \\
M(x) &= -EJW''(x) \\
Q(x) &= -EJW'''(x) + SW'(x)
\end{aligned}
\tag{4}$$

Условите што постојат во даден попречен пресек од распонот, на растојание x , можат да се прикажат со векторот:

$$y(x) = [W, \varphi, M, Q]^T \tag{5}$$

Со примена на методата на трансфер матрици, ако се познати условите на едниот крај од распонот y_0 , (за $x = 0$), можно е со помош на трансфер матрицата $[a_{ik}]$, $i, k=1,2,3,4$, да се определат условите во било кој попречен пресек на растојание x вдоль распонот:

$$y(x) = [a_{ik}(x)]y_0 \tag{6}$$

Матрицата $[a_{ik}(x)]$ може да се определи од равенките (2) и (4).

Ако се дефинираат условите на краевите од распонот, тогаш е можно да се определат резонансните фреквенции на гредата и вредностите $y(x)$ на произволно растојание x вдоль распонот. Ако се усвојат вклетени краеве, што е најлошата од сите можни варијанти за прицврстувањето на проводните јажиња од гледна точка на дилатациите, тогаш матричната равенката (6) значително се упростува и се сведува на систем од две равенки.

Од извршените симулации за определување на дилатациите вдоль проводното јаже прикажани во [1], добиени се следните резултати:

- Максималната дилатација во антијазолот на растојание $D/2$ од оската на гредата, во рамнината на вибрирање за било кој попречен пресек, со исклучок на оние помеѓу краевите и првиот јазол изнесува:

$$\varepsilon_v = 4\pi^2 \frac{u}{\lambda^2} \frac{D}{2} \tag{7}$$

- Максималната дилатација што се јавува на краевите од распонот на растојание од оската на гредата $D/2$ изнесува:

$$\varepsilon_i = 4\pi^2 K \frac{u}{\lambda^2} \frac{D}{2} \tag{8}$$

каде се:

u - амплитуда на вибрирање на антијазолот

D - дијаметар на гредата

λ - бранова должина

K - константа што се отчитува од дијаграм [1]

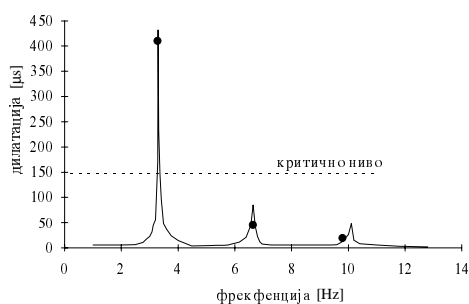
За да равенките (7) и (8) се применат на проводно јаже, потребно е само да се воведат коефициентите на лизгање помеѓу жиците на јажето K_1 и K_2 , кои се експериментално определени за различни типови на проводни јажиња, различни дијаметри на јажето и различни сили на затегнување:

$$\varepsilon_v = K_1 4\pi^2 \frac{u}{\lambda^2} \frac{D}{2} \quad \varepsilon_i = K_2 4\pi^2 K \sqrt{\frac{S}{EJ}} \frac{u}{\lambda} \frac{D}{2} \quad (9)$$

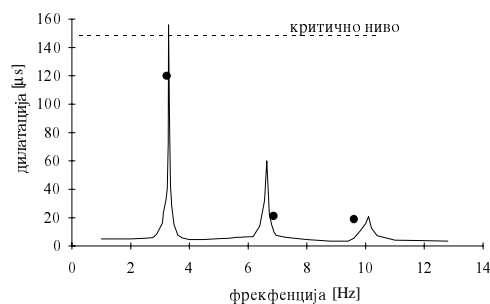
4. РЕЗУЛТАТИ ОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИСПИТУВАЊА

Експерименталните испитувања на динамичката распределба на дилатациите се изведени на сноп од две проводни јажиња (тип *ACSR 490/65*) со должина од 19.5 m , затегнати со еднаква сила од 30.6 kN која обезбедува исто работно напрегање на истегнување како во експлоатациони услови. Едната потпора за која е фиксирано јажето се поставува на виброплатформата која генерира хармониска побуда во вертикален правец, со константна акцелерација од 0.05 g .

На сл.1 и сл.2 прикажани се споредбено дилатациите во точките на обесување на проводните јажиња за сноп без дампер, и сноп опремен со просторен дампер *DAMP*. Со полна линија се прикажани резултатите од аналитичките пресметки, додека со точки, резултатите од експерименталните испитувања.



Сл.1. Дилатации на сноп без дампер



Сл.2. Дилатации на сноп со дампер *DAMP*

5. ЗАКЛУЧОК

Од графичкиот приказ на зависноста на дилатациите од фреквенцијата на вибрирање на снопот од две проводни јажиња, побуден со сила која на системот му задава константно забрзување, се гледа дека дилатациите се максимални при најниските сопствени фреквенции на снопот, додека при повисоките фреквенции се незначителни во споредба со критичното ниво од $150 \mu\text{s}$. Затоа и испитувањето е ограничено на првите три сопствени фреквенции на снопот. Исто така при вертикалното побудување на хоризонтален сноп од проводни јажиња, какво што е применето во експериментот, дилатациите во точките на поставување на дамперот на јажињата се незначителни поради фазното движење на истите. Затоа како меродавни при испитувањето се земени само дилатациите во точките на обесување на проводните јажиња. Од прикажаните дијаграми се забележува задоволително совпаѓање на аналитичките и експерименталните резултати, особено кај снопот кој не е опремен со просторен дампер.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Claren, G. Diana, "Transverse vibrations of stranded cables" IEEE Paper, 1989
- [2] R.R. Scanlan, R. Swart, " Bending stiffness and strain in stranded cables", IEEE Paper, 1969

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

Стефановски Сашо, дипл.ел.инж. ,Електропренос-Скопје
Алексовска Елена, дипл. ел. инж. ,ЕМО-Охрид

ВОВЕДУВАЊЕ НА СТАПНИ ИЗОЛАТОРИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИЈАТА НА 110 KV ДАЛЕКУВОД БРОЈ 110/2 СКОПЈЕ1 – СКОПЈЕ 4

СОДРЖИНА

Овој текст всушност, претставува информација за тоа зошто и како Електропренос-Скопје, при реконструкција на 110 kV далекувод број 110/2 Скопје1-Скопје4 се одлучи да го примени масивниот стапен порцелански изолатор наместо, досега вообичаените – капести изолатори. Информацијата ги содржи сите фази кои претходеа на дефинитивната одлука за примена на ваков-нов тип изолација на 110 kV надземни водови. Презентирани се причините за ваквиот избор, изборот на заштитна опрема, сите потребни тестирања и на крајот, уверување дека овој изолатор значи крај на многу проблеми во погонот на преносната мрежа во Р.Македонија.

клучни зборови: стапен изолатор, непробојност

INTRODUCTION OF LONG-ROD PORCELAIN INSULATOR IN RECONSTRUCTION OF 110 KV OVERHEAD LINE SKOPJE1-SKOPJE4

SUMMARY

This text is supposed to be an information about why and how, Elektroprenos-Skopje decided to use long rod porcelain insulator instead usual, cap and pin insulators, for the reconstruction of the 110 kV overhead line Skopje1-Skopje4. This information contains the all phases that existed before the final decision for the application of new-insulators of this kind in our overhead lines. The contents of the text imply the following: the reasons for this choice, the selection of protective devices, all tests that were required and in the end, the assurance that this insulator means the end of a lot of problems in working of the HV transmission net in Macedonia.

key words: long-rod insulator, puncture proof,

1 **ВОВЕД**

Во високонапонската надземна мрежа во Македонија, од самиот почеток во употреба се порцелански капаста изолатори, кои се уште преовладуваат. Меѓутоа, во 70-те години постепено се преминува на стаклени капаста изолатори со основна причина – лесна детекција при пробој.

Зошто е битно изолаторот да биде што е можно поотпорен на пробој а, во случај до пробој да дојде, кои се понатамошните импликации? Одговорот на ова прашање може да се добие врз основа на проблемите со кои се соочуваат екипите во одржувањето а, уште повеќе врз основа на проблемите кои се појавуваат при погонските (не)прилики при пробој на изолацијата на водовите. Значи:

а) Ако времето кое се “троши” во редовното одржување на високонапонските водови се прикаже во некој опаѓачки редослед се добива:

- Преглед на далекуводите,
- Одржување на шумските коридори и сечење на вегетацијата која пречи во погонот,
- Изработка и монтажа на украдени “L” профили,
- Замена на изолатори (скршени или пробиени),
- Поправка на проводни или заштитни јажиња.

б) Најчест проблем во разрешувањето на пореметените погонски состојби претставува пронаоѓањето на местото на дефект во случај кога се работи за пробиев изолаторски ланец, особено порцелански. Тоа бара ангажирање на голема екипа, возила, многу време. На крајот, дефектот пак може да не биде пронајден и се наложува повторно вклучување на далекуводот визуелно да се детектира местото, што уште повеќе ја напрега опремата. (Без разлика што овој приод е неконвенционален и можеби “премногу едноставен”, тој е под принуда на реалната состојба затоа што локатори на грешка нема на сите далекуводи или ако ги има најчесто се непрецизни или се во дефект.)

Во случај кога на далекуводите би имале непробојни изолатори, би елиминирале не мал дел од прекините во погонот а, секако и дел од ангажманот на екипите кои се грижат за одржувањето.

Во светот, решение на овој проблем се бара со воведување на нови типови изолатори, а тоа се стапните-порцелански (што не е баш нов тип, затоа што се во употреба веќе 50 години) или стапни-композитни (во употреба во последно време, особено во САД). Забелешката дека стапните порцелански изолатори се во употреба подолго време, а ние сега ги “откриваме”, говори и за тоа дека, сепак треба да се земе предвид постоењето на локалните производители што најчесто има одлучувачко влијание врз изборот на изолатор. Од друга страна, тоа е повеќе од доволен период за да се користат некои статистички показатели.

Во Македонија немаме локален производител па затоа и полесно се обидуваме да го прифатиме светскиот тренд. Засега, само со порцелански стапни изолатори за 110 kV

Повод за размислување да се воведат нов тип изолатори беа контактите и информациите од сродните електропреносни компании во Европа (Австрија и Германија) во смисла на нивното богато искуство

Прво прашање беше, дали на постојната заштитна и овесна опрема може, без некои посебни прилагодувања, да се вметне стапен изолатор. Одговорот го добивме со диелектрични испитувања во високонапонската лабораторија EGU - Прага, каде се покажа дека без никакви проблеми стапниот изолатор функционира на постојната опрема. Значи истиот може да се користи и за интервенции на далекуводи кои се опремени со капасти изолатори. Меѓутоа, во случај кога овој изолатор се вградува на нов далекувод се процени дека и овесната опрема треба да биде прилагодена. Така, во случајот на реконструкција на 110 kV далекувод број 110/2 Скопје1-Скопје4 предвиден е стапниот изолатор и ќе биде вграден со овесна и заштитна опрема која е специјално дизајнирана за него. И за овој случај се извршија потребните диелектрични испитувања во високонапонската лабораторија EGU - Прага.

2 ПРИЧИНИ НА " ЕЛЕКТРОПРЕНОС" ЗА ВОВЕДУВАЊЕ НА СТАПНИОТ ПОРЦЕЛАНСКИ ИЗОЛАТОР

1. Големи предности на стапниот изолатор во однос на капастите*

2. Реконструкцијата на 110 kV ДВ бр.110/2 Скопје1-Скопје4 всушност претставува изградба на сосем нов далекувод по постојната траса и при која изолацијата секако би била заменета а, во вкупните трошоци таа влегува со само 5,1% (во случај да се употребат капасти изолатори тој процент би бил 4,3%).

3. Се работи за релативно куса 110 kV врска (12,5кМ.) но, специфична во однос на реонот каде минува трасата(населени места; згради; земјоделски површини; загадена околина; премини преку железнички линии, автопат, локални патишта) каде предностите на стапниот изолатор, се очекува, би дошле до полн израз.

4. Богатото искуство со ваков тип изолатори и исклучително малиот број грешки во мрежата поради изолацијата, на земји како што се Германија, Австрија, Швајцарија и некои земји од поранешниот источен блок.(Статистика од корисници-електростопански компании)

5. Во Македонија, стапни изолатори биле користени во многу мала количина, може да се каже-експериментално. Искуството со нив е прилично лошо и веднаш се заменети. Меѓутоа, тоа биле изолатори изработени од кварцен порцелан и лоша технологија на лепење, кои многу тешко ги поднесувале температурните промени и се неспоредливи со сегашните. Сегашните се изработени од високо квалитетен алуминиум-оксид порцелан кој оневозможува било какви структурни стресови како и извонредна издржливост на температурни промени.

6. Локална мала фабрика, лесно приспособлива, како што е ЕМО-Охрид; ВНА - Штип, која релативно брзо би дизајнирала и изработила овесна и заштитна опрема за стапен изолатор.(Што се покажа како точно)

7. Генерална интенција на "Електропренос" за постојано унапредување на техничките перформанси и кондиција на водовите со истовремено намалување на трошоците за одржување.

***Предности на стайниот изолаиор во однос на каиасиите:**

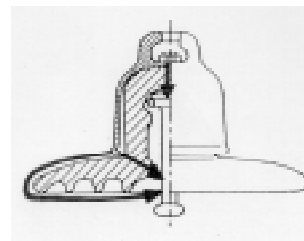
а) Непробојност

- Стапен изолаитор:

Теоретската патека на пробој низ телото на изолаиторот е подеднаква и е приближно иста со патеката на пробој низ воздух. Поради многу поголемата диелектрична цврстина на порцеланот прескокоот секогаш настанува во воздух, поради конструкцијата нема каскадни прескоци, површината на изолаиторот ефикасно се штити со заштитните прстени. Токму поради горекажаното овој тип изолаитори го има добиено називот-Непробоен (puncture-proof) и согласно ИЕС 383 препораките е сместен во Тип А (види слика)изолаитори за кои не се вршат никакви тестирања на пробој.

- Капаст изолаитор:

Овие изолаитори се состојат од две електроди(капа и чекан) кои меѓу себе се изолирани со релативно тенок слој на изолација(порцелан, стакло). Патот на пробој кај овие изолаитори е краток и затоа тие, согласно ИЕС 383 се сместени во Тип Б (види слика)изолаитори - пробојни (non puncture proof) и за нив тестот за пробој е задолжителен.



Тип В

X - растојание на пробој
Y - растојание на прескок
Z – место на најчест пробој

б) Струјна патека

- Стапен изолаитор:

Струјната патека се остварува вертикално, преку крилцата и хоризонтално преку телото на изолаиторот. Непотребно е додавање на ребра под крилцата што овозможува ефикасно самочистење по целата должина, во услови на загадена средина.

- Капаст изолаиторски ланец:

Струјната патека треба да биде и до 20% подолга отколку кај стапниот поради металните делови во ланецот(каскадни прескоци).Не постои можност за самочистење во услови на загадена средина.

в) Број на метални делови

- Стапен изолатор:

Ако зборуваме за 110 кВ ланец, метални делови има само на неговите краеве а, тоа овозможува: Минимална можност за корозија; Ниско ниво на радио пречки (во нашиот случај наместо гнездо и чекан поврзувањето на изолаторот се изведува со вилушка што уште повеќе го смалува нивото); Помала тежина на ланецот и до 50%.

г) Зона на стрес

- Стапен изолатор:

Зоните на стрес, се одвоени бидејќи металните делови се наоѓаат на краевите.

- Капаст изолаторски ланец:

Стресна зона постои на секоја единица (повеќе ризични места за механичко и електрично оштетување)

д) Тестирање на оптеретување

- Стапен изолатор:

Рутинското тестирање на оптеретување изнесува 80% од минималната сила на кинење.

-Капаст изолатор:

Рутинското тестирање на оптеретување изнесува 50% од минималната сила на кинење.

3 ИЗОЛАТОРИ И ЗАШТИТНА ОПРЕМА УПОТРЕБЕНИ ВО РЕКОНСТРУКЦИЈАТА НА 110 КВ ДВ БР. 110/2 СКОПЈЕ1-СКОПЈЕ4

3.1 Изолатор

Како резултат на размислувањето за реконструкција, стручниот тим од "Електропренос" и одговорниот проектант се одлучија за два типа на стапнии изолатори од производителот "CERAM"-Австрија.

Пред се, битно беше да се одреди степенот на загадување на реоните низ кои минува трасата. Поради тоа што не постојат конкретни мерења за степенот на загадување (Охис, Цементарница) се наметна, решението да биде врз основа на искуство и некоја проекција за идниот развој на реонот.

Основната изолација на стариот 110 кВ вод се состои од капаста порцелански изолатори тип К-3 170/280. Во делот каде водот минува низ зона со зголемено загадување (фабрики) употребени се по 7 единици во еден изолаторски ланец, а тоа значи дека струјната патека по ланец изнесува 2100 mm (17 mm/kV).

Степен на загаденост	Специфична номинална струјна патека помеѓу фазата и земјата (mm/kV)
I - Мала загаденост	16
II - Средна загаденост	20
III - Голема загаденост	25
IV - Многу голема загаденост	31

Од горната табела може да се види дека изолацијата на стариот вод одговара и е некаде на долната граница за "мала загаденост". Од друга страна, во последно време индустриските капацитети работат со намален интензитет што не значи дека така ќе остане и во иднина. Исто така реонот каде минува целиот далекувод забрзано се урбанизира. Големата важност која му се придава на далекуводот во затворање на струјниот ринг на скопското подрачје секако, има своја тежина. Така, беше одлучено да се употреби стапен изолатор за "средна загаденост" односно, изолатор кој одговара на долната граница за II степен на загаденост (20 mm/kV), земајќи ги во предвид и неговите добри карактеристики во услови на загадена средина *(точкаб;в). Можеби изгледа дека должината на струјната патека е претерано голема но, кога ќе се земат предвид сите аргументи и особено, неможноста за продолжување на струјната патека во случај да во иднина се појави повисок степен на загадување, решението според сите проценки е оптимално. Особено затоа што овој тип изолатори за прв пат се применува кај нас па прифатено беше да се оди со поголема сигурност. Аргумент повеќе за овој избор е и фактот дека, во случај реконструкцијата на предметниот вод, да се вршеше со стаклени капасте изолатори, барем во реонот каде се смета дека загадувањето е најголемо, ќе беа употребени стаклени-antifog изолатори (изолатори за загадена средина) чиј ланец има должина на струјната патека од 2970 мм. (Оваа должина е фиксна, поради конструкцијата на капастите изолатори)

Производителот "CERAM" за оваа намена го понуди изолаторот со ознака LG65/22/1270 со струјна патека од 2500 mm.

Вториот тип изолатор се наметна од потребата за електрично појачана изолација на места кои се предвидени со техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови. Имено, прописите велат дека електрично појачан стапен изолатор е оној кој има зголемена должина на струјната патека.

Производителот "CERAM" за оваа намена го понуди изолаторот со ознака LG65/22EP/1270 со 2760 mm должина на струјна патека.

3.2 Заштитна опрема

При димензионирање и обликување на заштитните арматури за стапен изолатор тип LG 65/22/1270 за 110 kV се тргна од основните технички барања кои треба да бидат задоволени:

- Да се спречи прескок на лакот по површина на изолаторот.
- Арматурата да ги поднесе големите термичките напрегања кои би се јавиле при куса врска.
- Екранизирање на елементите од овесната опрема кои се под напон, со цел да се спречи појавата на корона и да се намалат радио пречките

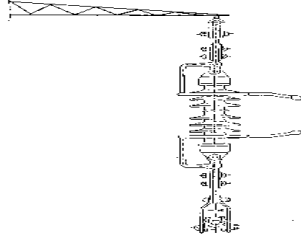
-Овозможување на едноставна монтажа и одржување

За конструкција на заштитната арматура користени се светски искуства , бидејќи практичните искуства кај нас, со ваков вид изолатори се незначителни.

Така, направени се две варијанти на заштитна арматура.

Едната варијанта е со заштитен прстен , а другата е со заштитен рог.

Заштитната арматура со искриштето е свртена спротивно од конструкцијата на столбот како би се редуцирало влијанието на магнетното поле на отклонот на електричниот лак, во петљата конструкција-конзола-изолаторски ланец (види слика)



Направени се прототипи кои се испитани во високонапонската лабораторија EGU во Прага.

4 ДИЕЛЕКТРИЧНИ ИСПИТУВАЊА

Извршени се следните типови на диелектрични испитувања:

1. Испитување на ниво на радио пречки-радио интерференца според IEC 437 и CISPR 18-2:1986 год.

2. Испитување со еднонасочен ударен напон со позитивен и негативен поларитет кој симулира атмосферско празнење. Испитувањата се извршени според IEC 383-2 од 1993 год. клаузула 9 , по "up and down" метода со 40 импулси.

3. Испитување со наизменичен напон со индустриска фреквенција на дожд , како понеповолна варијанта. Испитувањата се извршени според IEC 382-2 од 1993 год. клаузула 10.

Испитани беа следните типови изолатори со двете варијанти на заштитна опрема:

Вид на изолатор	Кат. број	
Единичен носив изолатор-ЕН (со рогови)	L.16.12.12	
Двојни носиви изолатори-ДН (со прстени)	L.16.22.13	употребени при реконструкцијата
Единичен затезен изолатор-ЕЗ (со прстени)	L.16.32.11	
Двојни затезна изолатори-ДЗ (со прстени)	L.16.42.11	употребени при реконструкцијата

Резултати:

4.1 Испитување со еднонасочен ударен напон

Тип на изолат.	EN L16.12.12		DN L16.22.13		EZ L16.32.11		DZ L16.42.11	
	b (kPa)	98.3	98.0	98.1	98.1	99.2	99.2	99.2
t (°C)	17.2	17.2	16.9	16.9	16.6	16.6	16.6	16.6
h (g/m ³)	8.3	8.3	8.4	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6
Поларитет	+	-	+	-	+	-	+	-
k1	0.980	0.980	0.979	0.979	0.991	0.991	0.991	0.991
k2	0.975	0.985	0.976	0.985	0.977	0.989	0.977	0.989
k _t	0.955	0.965	0.955	0.964	0.968	0.980	0.968	0.980
U _{50%} (kV)	594	670	633	698	614	734	614	734
U _{10%} (kV)	571	644	608	671	590	705	590	705

k1-корекционен фактор за густина на воздухот; k2-корекционен фактор за влажност на воздухот; k_t-корекционен фактор за атмосферскиот притисок; U_{50%} (kV)-50 % пробоеен напон; U_{10%} (kV)-10% пробоеен напон

Коментар: Ако вредноста на пробоејниот напон е поголема од 550 kV тогаш ги задоволува пропишаните вредностите од стандардот ИЕС 60-1 клаузула 20.1.4.

4.2 Резултати од испитување со напон со индустриска фреквенција

Тип на изолат.		EN L16.12.12		DN L16.22.13		EZ L16.32.11		DZ L16.42.11	
b (kPa)		99.0		99.0		99.0		99.0	
t (°C)		16.6		16.4		16.6		16.6	
R.I. (mm/min.)	v.c.	1.2		1.3		1.0		1.0	
	h.c.	1.2		1.4		1.2		1.2	
R _w (Ωm)		103.0		103.0		102.0		102.0	
корекциони фактори		U _F	U _{WM}	U _F	U _{WM}	U _F	U _{WM}	U _F	U _{WM}
k1		0.995	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
k2		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
k _t		0.995	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
U _f (kV)		341		334		352		352	
U _{wm} (kV)		332		271		331		331	

R.I.(mm/min.)-интензитет на вештачкиот дожд(v.c.-вертикална компонента, h.c.-хоризонтална компонента); $R_w(\Omega m)$ -електричен отпор на водата; U_f (kV)-измерен напон на прескок; U_{wm} (kV)-максимален подносив напон (за време од 60 сек.)

Коментар: Ако вредноста на напонот на прескок е поголема од 230 kV тогаш таа ги задоволува пропишаните вредности според стандардот IEC 60-1 клаузула 17.1.

4.3 Испитување на радио пречки

Тип на изолат.	EN L16.12.12	DN L16.22.13	EZ L16.32.11	DZ L16.42.11
b (kPa)	98.0	98.0	98.0	98.0
t (°C)	16.9	16.8	17.0	17.0
h (g/m ³)	9.0	9.5	9.2	9.2
U_T (kV)	E (dB/1 μ V)			
78	27	26	58	53
<u>71</u>	<u>27</u>	<u>26</u>	<u>56</u>	<u>26</u>
64	27	26	50	26
57	27	26	27	26
50	27	26	27	26
43	27	26	27	26
36	27	26	27	26
28	27	26	27	26
21	27	26	27	26
0	27	26	27	26

b (kPa)-атмосферски притисок; t(°C)-температура; h (g/m³)-влажност на воздухот; U_T (kV)-испитен напон; E(dB/1 μ V)-ниво на радио интерференца

Коментар: Нивото на радио интерференца не смее да ја преминува дозволената граница за напон од 71 kV (123/3)

5 ЗАКЛУЧОК

5.1 Изолатор

Покрај сите аргументи во прилог на стапниот изолатор и уверувањата дека со негова примена значително би се подобрила погонската доверливост на далекуводите со големо намалување на трошоците во одржувањето, наместо било каков заклучок вреди да се погледаат статистичките податоци објавени на CIGRE 1994 :

На разгледуван (хипотетичен) 400 кВ вод со 10 000 инсталирани ланци времето до првото оштетување на изолаторска единица би било како во наредната табела:

Тип на изолатор	Време до првото оштетување
Капаст, порцелан	10 часа
Капаст, стакло	6 дена
Стапен, полимер	17,5 дена
Стапен, порцелан	18 години

5.2 Заштитна опрема

За конструкцијата на ланците со стапен изолатор во однос на оние со капасти изолатори може да се заклучи дека монтажата и одржувањето на стапните изолатори ќе бидат во голема мерка поедноставени земајќи го во предвид следното:

- Опремата за сите типови на ланци со стапен изолатор е составена од вкупно 6 различни елементи.
- Опремата за сите типови на ланци со капасти изолатори составена е од 17 различни елементи.
- Заштитниот прстен е единствен, се користи и како горен и како долен.

5.3 Комплетен изолатор

Диелектричните испитувања покажаа дека стапниот изолатор ги задоволува сите барања меѓутоа, нешто повисоките резултати од испитувањата со ударен напон наведуваат дека, при примената треба да се води сметка и за координација на изолацијата.

Од аспект на координација на изолација решено е да на приклучните портали во ТС Скопје1 и ТС Скопје 4 приклучувањето на далекуводите биде со стаклени капасти изолатори со иста конфигурација како и досега. Друго решение би значело дизајн и конструкција на регулациони искришта што претставува непотребно комплицирање. Меѓутоа, ако овој тренд на примена на стапните изолатори продолжи, размислувањата одат во насока на докомплетирање на заштитната опрема на стапниот изолатор и со регулациони искришта.

Александар Рибароски
Михајло Атанасоски
Никола Доновски
Никола Николиќ
Васко Штерјовски

- Еуропрофил д.о.о.с.Алданци, Крушево
- Електродистрибуција, Прилеп
- Електродистрибуција, Ресен
- Тимел Проект, Скопје
- Електродистрибуција, Гостивар

**ПУЛТРУДИРАНИ ПРОФИЛИ И НИВНА ПРИМЕНА ВО
ВИСОКОНАПОНСКАТА ОПРЕМА КАКО НОСАЧИ НА ПОТПОРНИ
ИЗОЛАТОРИ PNPI -t ЗА НАПОНСКО НИВО ОД 10 ДО 35 kV**

S U M M A R Y

Innovation on the iron support of the line porcelain insulator with application on the Pultruded - GFR composite materials as substitute of the steel material

СОДРЖИНА

Иновирање врз металниот носач за линиски порцелански изолатор со примена на пултрудирани **GFR** композитни материјали како супститути на металот

Клучни зборови:

Композитен потпорен носач, Пултрудирани профили, композитни материјали, супституција на материјали

1. ВОВЕД

Експлоатационите проблеми и пратечките тешкотии во секојдневната пракса најчесто се и причини за иницирање на работни задачи за производителите, а едновременно мотивирачки фактор за барање на разрешница и изработување на техничко технолошко решение за надминување на постоечките состојби. Честопати решенијата за проблемите ни се на дофат. Се поголемата затвореност, наметнатите ограничености и смалениот број на информации доведуваат во мирување на мноштво проблеми. Како последица на недоволниот број расположиви податоци, малиот број на техничко - технолошки информации и согледувања, а честопати и поради нашата инертност и недоверливост кон новините се оддалечуваме од брзото изнаоѓање разрешници на актуелните проблеми.

Една проблематика од тие пратечки експлоатациони секојдневици и нејзино разрешување обработува овој текст. Пример кој е демант на погорното, а уште

еднаш ја потврдува нераскинливата врска помеѓу производителот и корисникот, пример за обострана соработка, поддршка и доверба. Особеноста на примерот е во тоа што е проектирана и постигната целосна техничка оправданост со понуденото решение за разрешување на проблемот.

Во дадениов случај станува збор за избор, проектирање и усвојување на електро изолационен материјал кој ќе изврши супституција на механичките карактеристики на метал. Во класичната поставка, за носач на потпорен изолатор се применува-л електропроводен материјал - метал. Со металниот носач, порцеланскиот линиски изолатор често страда под влијание на пренапони. При пробив на изолатор времето на испад на водот ќе биде толку големо колку што на екипата ќе и биде потребно да го пронајде пробиениот изолатор, а потоа истиот и да го замени. Честопати екипата за отстранување на дефекти тоа мора да го прави, како по правило, во тешки временски услови на калливи терени, по дожд, по снег, ноќе, по студ...За надминување на проблемот потребно е или да се заштити водот, да се промени типот на изолатор или како во даденово решение да се употреби носач на линиски порцелански изолатор од електроизолационен материјал - во случајов применет е пултрудиран композитен профил како носач. Избрана е можноста, врз основа на расположиви техничко технолошки решенија и материјали да се употреби електроотпорен носач за потпорен линиски порцелански изолатор. Овде мораме да нагласиме дека со оваа супституција се постигна и техничка и економска оправданост.

2. КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ ОД СТАКЛЕНИ ФИЛАМЕНТИ

Металите се одликуваат со особината, врз основа на својот структурен состав, во секој правец подеднакво да ги поднесуваат механички оптеретувања. Согласно оваа особина проектирањето на производите од метал е поедноставено за проектантот затоа што, од избран со соодветни карактеристики метал како сировина, потребно е да се пресметаат критичните димензии на елементот.

Од друга страна количинска ограниченост на металите во природата повеќе или помалку не принудуваат да размислуваме, а едновременно и да превземеме чекори за нивна супституција секаде онаму каде што за тоа ни се дава можност, зачувувајќи ги металите за потреби во иднина или за се она каде што неможеме да ги супституираме со други материјали. Заменувањето на еден тип на метал со друг тип на метал или замената на металот со друг тип на материјал во некои области од инженерската пракса е наметната и како техничка нужност. Таксативно можат да се наведат повеќе причини, но од нив би ги навеле потребата од смалување на специфичната волуменска тежина, подобрувања кај механичките карактеристики или пак подобрувања на особините. Овие и другите причини секојдневно се наметнуваат како нужност и изнудуваат потреби од изнаоѓања на решенија со кои не само што се врши супституција на материјалите туку при тоа се настојува да се смалат и сите можни пратечки трошоци, да се прават што е можно поголеми заштеди на природните ресурси, да се вградува што е можно помало учество на енергија, а особено внимание се посветува на анулирање на индивидуалната грешка со цел постигнување на се повисок учинок и искористување на влезните сировини.

Како последица на овие потреби создадени се нови генерации синтетички материјали како супститути на металите. Во креирањето на синтетичките материјали не се задржува само на супституција на механичките особини туку се оди и чекор понатаму - во смалување или подобрување па и анулирање на другите

негативности кои што ги имаат металите. Такви смалувања се карактеристични со соодносот на тежината, потоа синтетските материјали се одликуваат со отпорност на корозија и на агресивни средства со што во голема мерка им е зголемен животниот век. Синтетските материјали можат да се проектираат според потребите на проектното барање на производот. Велиме проектирање на карактеристики на материјал низ производ, и тука во суштина ја потенцираме суштинската разликата во приодот при разрешување на техничкиот проблем помеѓу решение со метал и со синтетски материјал - композит.

Ако можеме да се сложиме дека металот во сите правци подеднакво се спротивставува на оптоварувањата, за композитот потребно е да кажеме дека неговите карактеристики се усмеруваат при проектирањето на материјалот во оној правец или правци во кои се проектирани и очекувани неговите критични оптеретувања

Синтетските композитни материјали во основа базираа на синтетски смолни системи и филаменти или влакна. Според технологијата на градба на материјалот постојат повеќе типови на композитни материјали и тоа намотувани, извлечени, пресувани и т.н. композити

Домашен термилошки израз со кој се дефинира типот на синтетичкиот композитен материјал кај нас сеуште не е дефиниран. За поблиско именување на синтетските композитни материјали се користат изрази од англиската терминологија. Во пракса се среќаваат изразите "fiber glass" - стаклени влакна, потоа скратеницата "GRP" што во превод значи "зајакнати со стаклени влакна композитни пластични материјали" или изрази преку кои се идентификуваат материјалите врз основа на технолошките постапки на изработка како што "Filament Winding – FW" - намотани композитни материјали, "пултрудати" - извлечени профили или пултрудирани профили, "ламинати" - пресувани плочи и т.н.

Со можностите за избор на просторната ориентација на филаментите во материјалот, изборот на врзивни средства за меѓусебното поврзување на филаментите, техничките и технолошките решенија за проектирање и изработка на структура на материјалот, вградувањето на оптимални колични на сировини и енергија - синтетските композитни материјали се повеќе стануваат доследни супститути на механичките карактеристики на металите, а по одредени особини и ги надминуваат.

3. ПУЛТРУДИРАНИ ПРОФИЛИ

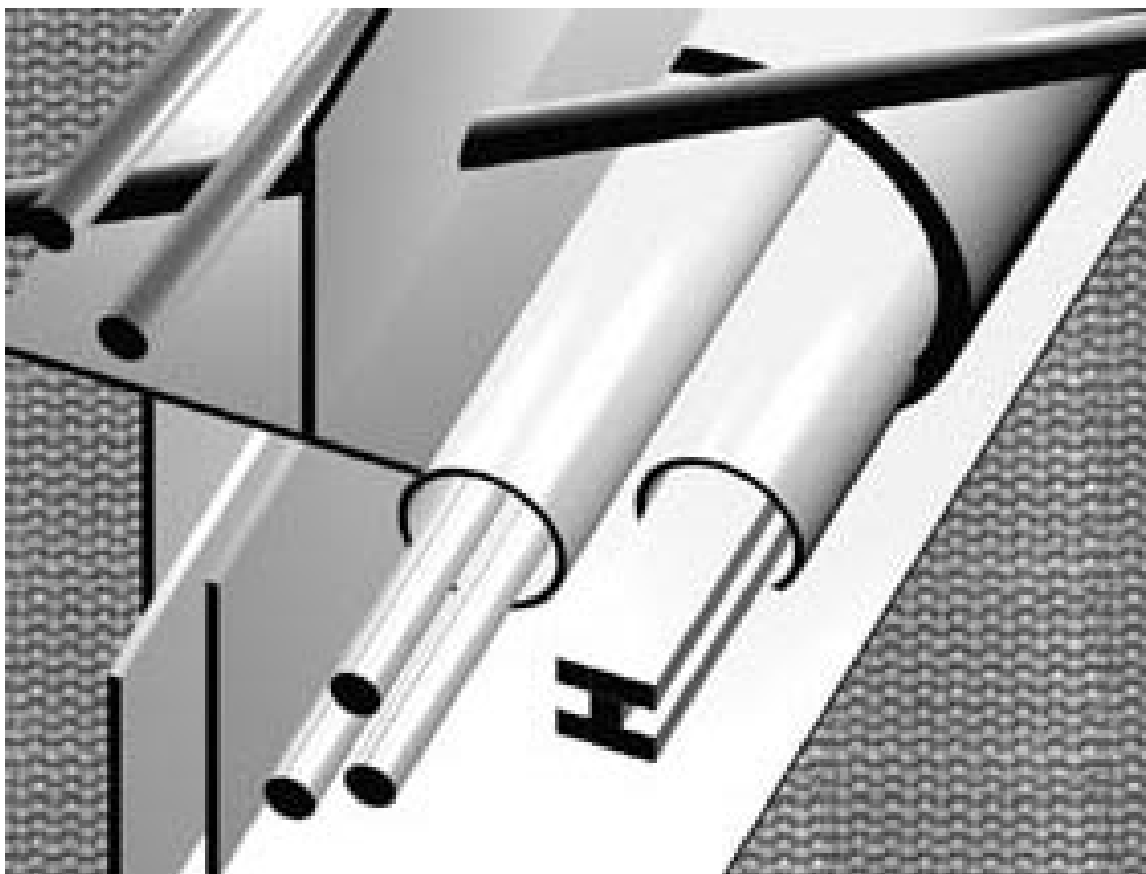
Пултрудираниите профили сл.1. се подгрупа на ојакнатите со стаклени филаменти композитни материјали кај кои од особена важност се електроизолационите својства, механичката носивост, трајноста на надворешни услови на експлоатација, неподложноста на корозија, ниската волуменска специфична тежина и обликувањето во сложени облици по попречен пресек по аксијалната оска без додатни механички обработки. Негативни страни се тоа што по целата должина имаат подеднаков попречен пресек, не доживуваат трајни пластични деформации и степенот на термичката класа на изолација е до "X" или до 180 °C.

Причина за ограничувањето е тоа што хемиската индустрија не усвоила погодни смолни системи за оваа технологија со повисока термичка класа.

Структурниот состав на пултрудираниот композитен профил базира на бесконечни безалкални стаклени, карбонски, арамидни, новолачни и т.н. филаменти кои имаат многу мал попречен пресек, односно дијаметарот им е во ред на големина од 10 до 16 μm , и врзивна смолна система на база епоксиди, полиестри или винилестри. Сублимацијата на импутните карактеристики и распределбата на количинските соодноси на сировините кај пултрудираниите профили рефлектира и респективно соодветни вредности на карактеристиките.

За полесно стекнување на сознание за пултрудираниот профил од аспект на неговата структура ќе воспоставиме една паралела помеѓу него и преднапрегнатиот бетон.

Сложувајќи се дека и бетонот е композитен материјал, можиме да ја воспоставиме паралелата на соодноси на конструктивните елементи на бетонот и на пултрудатот. Па така, тоа што арматурното железо кај бетонот има за задача да допринесе за зголемување на жилавоста при напрегања кај пултрудатот таа задача ја добива безалкалниот стаклен филламент, а цементот како врзивно средство и обезбедувач на крутост кај бетонот, во пултрудатот се заменува со смолниот



систем.

сл.1. Пултрудирани профили

Неоспорно дека техничко - технолошките постапки за изработка на двата типа материјали неможат да се споредуваат. Но може да се каже дека денес во светот почнуваат да се градат мостови исклучиво од пултрудати со што, дефакто се заменува и бетонот со еден посовремен композит. Како што во градежништвото за секој тип на носач, конзола или греда, изработувани од бетон, предходно им се

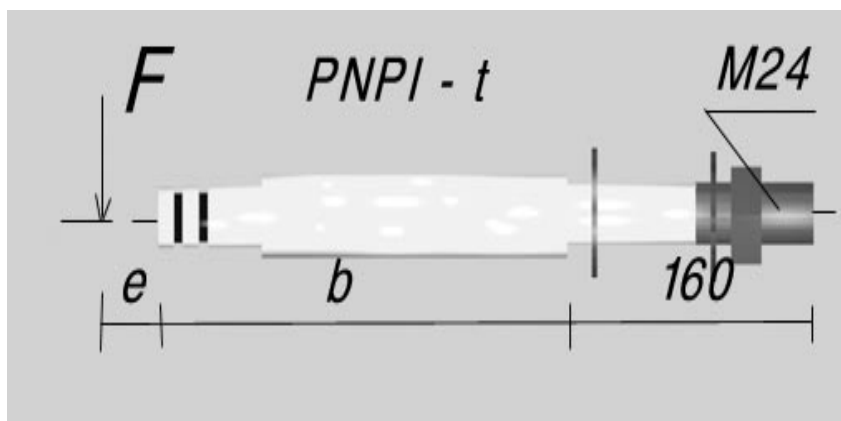
прорачунува и проектира статика и јакост така и кај пултрудатите или пошироко кај ојакнатите со стаклени филаменти композитни материјали потребно и неминовно е предвидување и прорачунување на оптоварувањата, проектирање на материјалот и негово верификување.

4. ПУЛТРУДИРАН НОСАЧ ЗА ПОТПОРЕН (ЛИНИСКИ) ИЗОЛАТОР PNPI - t

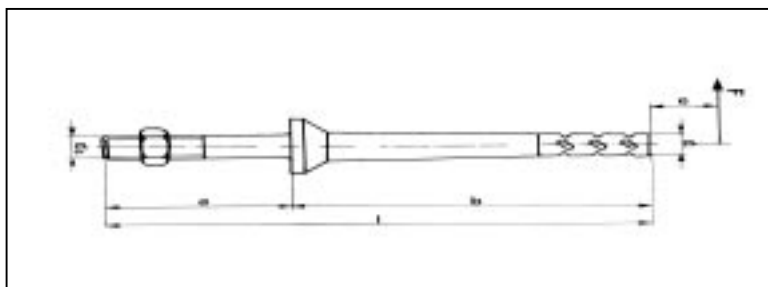
Поставка за композитниот пултрудирани носач на потпорен линиски изолатор беше да ги исполнува барањата за механичката носивост согласно барањата на стандардот **JUS N.F1.501**. Значи, материјалот за новопроектираниот носач, согласно лимитираните димензии, требаше да ги исполни пред се нормативите за механичка носивост при дефинирана линиската должина на телото и со стандардни димензии на трн за вградување во конзола. Надградба на поставката беше материјалот од кој ќе биде изработуван потпорниот носач да биде електроотпорен изолационен материјал погоден за надворешни услови на експлоатација.

При проектирањето на носачот определба ни беше да не ја променуваме техниката и технологијата на поставување - монтирање на линискиот изолатор на конзола.

Новиот потпорен носач сл.2. опремен е со навојна чаура, две подлошки и матица. Цилиндричното тело на носачот е со различни должини согласно напонското ниво на линискиот порцелански изолатор.



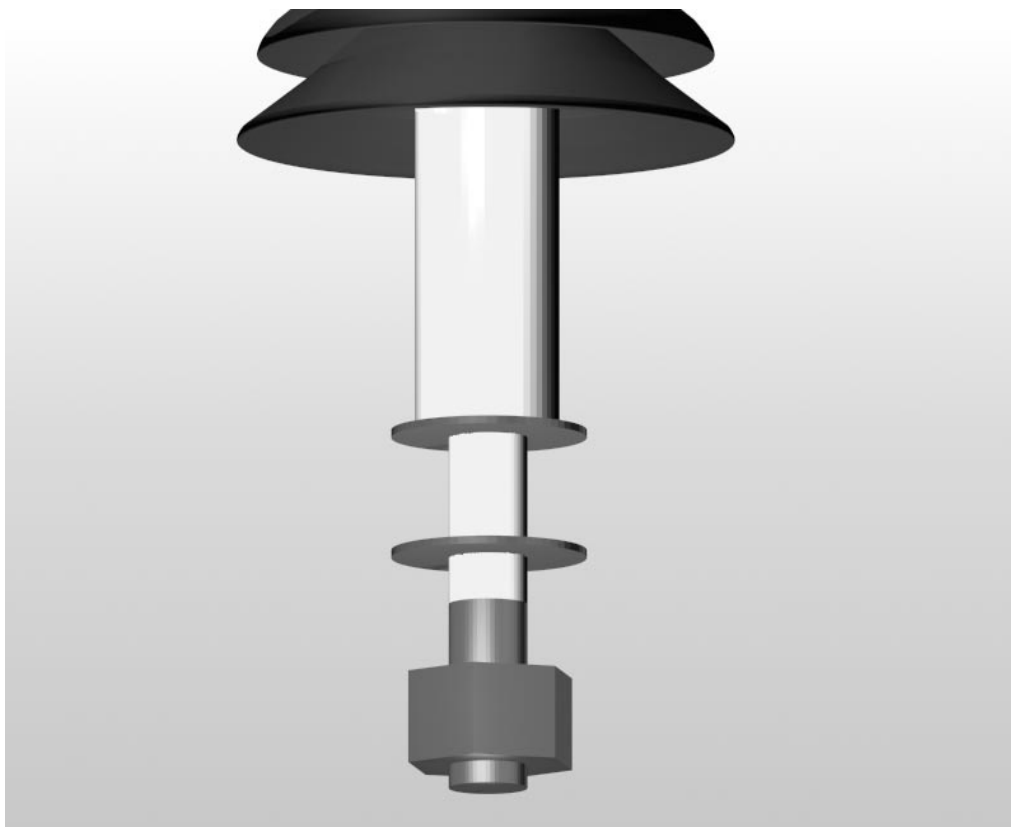
сл.2.1. PNPI -t



сл.2.2. NPV A/B

Носачот се изработува во три варијанти и тоа **PNPI - 25**, **PNPI - 28** и **PNPI - 35** респективно за напонските нива на порцеланските изолатори **Ps 12**, **Ps 24** и **28** и **Ps 35** и **38**.

Опремениот порцелански линиски изолатор со композитен потпорен носач е даден на сл.3.



сл.3. **Ps 28** изолатор со **PNPI 28** потпора

Скратеницата **PNPI - т** е формирана врз основа на првите букви од зборовите: (**P**) Ѓ потпорен, (**N**) - носач за, (**P**) Ѓ потпорен, (**I**) - изолатор и (**t**) - тип .

Потврда на механичките и електроизолационите карактеристики на носачот е добиена со неговите тестирања на Машинскиот Факултет во Скопје и лабораторијата за композитни материјали при АД "Еуроинвест - 11 Октомври" Прилеп.

Од приложената табела се увидуваат и димензиите, мерените вредности и масите на поединечните типови носачи (таб.1.) прку што може да се извршат споредувања.

Испитувањата на механички оптоварувања покажаа дека пултудираниот носач не претрпува трајни деформации до наведените сили на оптоварување во табелата. Во оваа зона на оптоварување материјалот се наоѓа во зона на еластичност. Единствен услов кој се поставува пред монтерот при користењето на

овој тип на носач е носачот правилно да го монтира врз конзолата, така што трнот целосно да се смести во неа, контролен увид се постигнува со проверка дали носачот се потпира со својата долна челна површина на конзолата преку подлошката.

5. ИСКУСТВЕНИ СОЗНАНИЈА ЗА PNPI - t

Потпорниот носач егзистира во мрежа, до моментот на оформување на овој текст - месец март 1998 - четири годишни периоди, будно пратен како од страна на производителот така и од страна на дистрибутивните претпријатија како корисници, во однос на неговото поведење и очекуваните ефекти. Поставен е на различни локалитети, со различни климатски услови и често пати како паралелен носач во пар со металниот. Целта на поставувањето на разнородните парови е да се покаже точно оправданоста на супституцијата на материјалите и потврдување на очекуваните ефекти.

6. СПОРЕДБЕНИ ТАБЕЛАРНИ ПОДАТОЦИ

Согласно расположивите податоци за метален прав носач "NPV" за високонапонски линиски изолатори, JUS N.F1.501, се сретнуваат следните карактеристични мери и специфики:

таб.1.

	<u>NPV</u>			<u>PNPI</u>		
	25 A / B	28 A / B	35 A / B	t=25	t=28	t= 35
1.должина на носач (mm)	170	205	320	170	205	320
2.должина на трн (mm)	105 / 140	105 / 140	125 / 145	160	160	160
3.дијаметар на трн	M24 / M30	M24 / M30	M24 / M36	M24/M30	M24/M30	M24/M36
4.дозволена сила (daN)	125 / 440	145 / 560	175 / 620	440	560	620
5.тежина (kg)	1.20 / 2.32	1.57/3.11	3.10 / 6.08	0.70	1.00	1.30
6.пробоен напон (kV)	- / -	- / -	- / -	200	250	300
7. материјал	Ч 0300 спрема JUS M.B0.500			Пултудиран профил BS 6128		
8.Un (kV)	10	20	35	10	20	35

Како што може да се види од приложената споредбена табела на податоците за металните и композитните потпори за линиски порцелански изолатори евидентно е дека основните патаметри:

-кај двата вида на потпори за номинален напон задржано е еднакво растојание на водот до конзолата;

- кај композитната потпора зголемена е должината на трнот па така композитната потпора може да се прицврсти и на нестандартна дебелина на конзола;
- кај двата вида на потпори задржано е еднаков дијаметар на телото на трнот;
- композитната потпора е димензионирана на мах дозволената сила (**F**);
- поединечната тежината на композитна потпора значително е пониска од тежината на соодветниот тип (**NPV - A** или **B** тип) челична варијанта;

Посебна актуелност композитниот носач создава со својата електроотпорна компонента за разлика од електропроводната кај челичната варијанта.

7. ЗАКЛУЧОК

Постигната е една техничка сатисфакција од една заедничка соработка помеѓу корисникот и производителот. Понудена е корисна економско-техничка и квалитетна промена и примена на потпора за линиски порцелански изолатор од неконвенционален материјал. Проектиран е и употребен пултудиран композитен профил и аплициран во финален производ.

Во заклучокот ќе ги наведеме сублимираните мислења добиени и потврдени преку корисниците на потпорниот композитен носач при што може да се наведи дека е:

- проектирано и понудено пред се корисно и практично техничко-технолошко решение за надминување на евидентните пратечки потешкотии во тековното работење;

- ова решение едновременно понудува заштеди на време, на материјални и на финансиски средства;

- применетата супституција на материјалот за потпорен носач на линиски порцелански изолатор целосно ги задоволува механичките барања кои што ги исполнува металниот носач;

- со композитниот носач се подигнува изолационото ниво на линискиот порцелански изолатор, а технолошката постапка за поврзување на носачот и порцеланот не дозволува да се појавуваат празнења или впивање на влага помеѓу носачот и изолаторот;

- порцеланскиот линиски изолатор опремен со композитниот носач е практично непробоен така што и при напрснување на порцелански изолатор сега веќе нема да имаме испад на линија;

- со избраниот материјал за композитниот носач, кој е синтетски произведен, со карактеристики насочени при проектирањето и отпорен на вибрации, материјал со ниска специфична волуменска тежина и неподложен на корозија, се намалуваат оптеретувањата на конзолата, а преку неа и на врвот на столбот;

И на крајот ќе кажеме дека техничкото решение е произлезено како последица од тековните искуствени проблеми, дава свој видлив допринос, го заштедува времето на мобилните екипи и е во служба на заштедите. Преку ова техничко решение во кое е применет материјал за потпора од композит се овозможува пред се зголемена присутност на композитите во тековната практика, проширување на сознанијата за особините и одликите на композитите кај пошироката техничка јавност како и отворање на можности за да се реализира следната фаза на иновирање на овие носачи на изолатори во потпори кој не ќе носат порцеланскиот линиски изолатор врз себе.

ЛИТЕРАТУРА:

-стандарди: **JUS, DIN, BS**

-податоци од испитувања и тестирања

-стручн и информации

МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ, СКОПЈЕ

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО-СИГРЕ

д-р Ристо Ачковски, дипл. ел. инж., Електротехнички факултет – Скопје

ПРИМЕНА НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ "DV" ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА НАДЗЕМНИ ВОДОВИ

КРАТКА СОДРЖИНА

Во трудот е најнапред даден кус опис на програмскиот пакет "DV", наменет за проектирање на надземни водови со помош на персонални компјутери. Наброени се потребните податоци, неопходни за ваков вид проектирање. Потоа е опишан принципот на кој работи програмот при изборот на типовите и висините на столбовите и нивното интерактивно разместување по должината на трасата.

На крајот се наброени техничките ограничувања кои според прописите треба безусловно да бидат исполнети. Опишан е и начинот на кој овој програмски пакет врши проверка на исправноста на добиеното решение и излезните резултати.

SUMMARY

This paper describes the programme package "DV" assigned for automated design of overhead lines by means of personal computers. All data, necessary for this purpose are counted. Then is described the interactive principle of choosing the type, height and position of each tower along the right-of-way of the line. All technical constrains which should be mandatory fulfilled while designing and the way this programme package checks are they really fulfilled, are also described. At the end of the paper are briefly presented the results obtained by this package as well as the output tables, which should be integral part of each project of an overhead line.

Клучни зборови: Надземни водови, проектирање, програмски пакет.

1. ВОВЕД

Новата ера што ја донесоа компјутерите ги изменија во голема мера навиките, начинот на живот и начинот на размислување на луѓето. Тие навлегоа во сите пори на нашето живеење, па така и во начинот на нашето работење, особено онаму каде што работата претставува мисловен процес каков што е, на пример, научно-истражувачката работа, пишувањето, креирањето на некакви дела, идеи, проекти и сл. Денес компјутерите веќе во голема мера се навлезени во процесот на проектирање на електроенергетските објекти, па на тој начин тие мошне интензивно се користат и при проектирањето на надземните електроенергетски водови.

Предностите на проектирањето на надземните водови со помош на компјутер над класичниот графоаналитички начин на проектирање, којшто бил вообичаен (и практично единствен) до пред извесно време, е повеќекратна. Основната предност тука е неспоредливо поголемата брзина и комодија при работењето. Големата брзина со која сега, користејќи го компјутерот, се добива техничкото решение, му овозможува на проектантот креирање, анализа и експериментирање со голем број разновидни варијанти и технички решенија на еден ист проблем (задача), без оглед дали се работи за проектирање на нов вод, или пак се работи за реконструкција на некој веќе постоен вод и слично.

Втората голема предност што ја има проектирањето со помош на компјутерите е точноста со која се добиваат резултатите. Точноста во пресметките кај аналитичкиот пристап на проектирањето со помош на компјутер е, исто така, значително поголема отколку кај класичниот начин на проектирање. Сега веќе не постои потреба од применување на разни емпириски или приближни релации и формули кои некогаш биле, од чисто практични причини, скоро неизбежни.

И конечно, компјутерите овозможуваат развивање на алгоритми и програми, со кои во целот ќе можат да се отстранат сите можни грешки, било да се работи за грешки во самите пресметковни операции, било за грешки до кои доаѓа поради употребата на погрешни или неточни влезни податоци со кои се дефинираат механичките и останатите карактеристики на елементите од надземниот вод. Тука спаѓаат и грешките коишто се последица на погрешната примена или тумачење на одредбите дефинирани со Правилникот за градба на надземни електроенергетски водови [1].

Во една компјутерска програма, наменета за решавање на споменатиот проблем, е можно скоро целосно инкорпорирање на сите наши прописи препораки и искуства што се однесуваат на оваа проблематика. На тој начин практично во целост би се избегнала можноста за добивање на технички неисправно решение кое не ќе задоволува некоја од одредбите на Правилникот.

Големата брзина на пресметување и автоматската проверка на сите технички ограничувања, наметнати од Правилникот, го ослободуваат проектантот од рутинскиот дел на работата, ја зголемуваат неговата концентрација на битните работи, ја зголемуваат неговата креативност и можноста за варијантни истражувања на голем број разновидни согледани технички решенија.

Конечно, со еден ваков програмски пакет се овозможува и добивање на сите излезни листи и табели, кои како продукт на пресметките, треба да претставуваат составен дел на секој главен проект на надземен вод. Тие листи и табели треба да се направени во завршна форма и како такви, без потреба од нивна дополнителна преработка, ќе можат да се внесат во самата техничка документација на објектот. На тој начин, процесот на проектирањето на водот како и процесот на самото техничко оформување на техничката документација многукратно се забрзуваат, а потребното време за наведените активности се сведува на минимум.

2. КРАТОК ОПИС НА ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ "DV"

2.1. Општо

Во периодот 1985 – 1990 година на Електротехничкиот факултет во Скопје е развиен програмскиот пакет "DV", наменет за проектирање на надземни водови со

помош на персонален компјутер. Од 1991 година тој веќе се наоѓа во употреба во десетина подружници на Јавното претпријатие "Електростопанство на Македонија". Тие и до ден денес го користат интензивно и со успех за проектирање на надземни водови со среден и висок напон.

Пакетот "DV" е наменет за проектирање на надземни електроенергетски водови со номинален напон 10, 20, 35 и 110 kV, во согласност со постојните нормативи за градба на надземни електроенергетски водови [1] и во склад со вообичената проектантска пракса [2], [3]. Со негова помош, без никакви ограничувања, можат да се проектираат вакви водови со:

- столбови од произволен тип и материјал,
- изолатори од произволен тип и материјал,
- произволен тип спроводници,
- произволни климатски параметри,
- произволна вредност на максималното работно напрегање на спроводниците,
- произволна конфигурација на теренот низ кој минува надземниот вод.

2.2. Основни карактеристики на пакетот

Пакетот DV" е во основа интерактивен. Тоа значи дека работата со него ќе се одвива во форма на перманентен дијалог помеѓу програмот и неговиот корисник. Притоа, корисникот треба точно да одговара на поставените прашања, да избира понудени опции преку системот на менија, или пак своите желби да ги соопштува на трет начин, преку разни графички команди и сл. Работата со овој програмски пакет се одвива во графички мод. Со тоа е овозможено и понатаму во целост да биде спроведувана досегашна проектантска пракса, па сите искуства и знаења од областа на проектирањето на надземните водови со кои располага проектантот, преку овој пакет ќе дојдат максимално до израз. Проектантот сега е ослободен од рутинските пресметки и проверки и неговата основна задача е своето внимание да го насочи на креативниот дел од работата. Ослободен на тој начин од рутинскиот дел на работата, тој ќе може да ја ангажира сета своја енергија, способност, искуство и знаење во изнаоѓањето на најсоодветното техничко решение, како од технички, така и од економски аспект.

Брзината на работа со помош на овој програм е огромна во споредба со брзината на проектирање со класичниот графоаналитички метод. Времето за добивање на едно исправно техничко решение сега ќе се мери со минути, наместо со денови. Тоа ќе му овозможи на проектантот експериментирање со голем број варијантни решенија па на тој начин тој ќе може да одбере решение кое што не е само технички исправно, туку е воедно економски оптимално или пак е блиску до оптималното решение.

Програмскиот пакет DV" овозможува и висока точност на пресметките. Сите приближни изрази, апроксимации и занемарувања коишто вообичаено се користат кај класичниот графоаналитички начин на проектирањето се овде, во целост, исфрлени. Пресметките овде се вршат со егзактните модели и изрази за пресметка на синџирницата (хиперболата), силите кај столбовите, напрегањата во спроводниците, повесите, височините на спроводниците над тлото и над разните видови пресечни објекти итн.

Покрај тоа, со програмот е практично во целост избегната можноста за појава на каква и да е грешка во пресметките. За разлика од него, кај класичниот графоаналитични начин на проектирање обично се греша заради неточното исцртување на надолжниот профил, неточното позиционирање на шаблонот со синцирницата, непрецизното отчитување на потребните височини и др. Се греша и во изведувањето на елементарните математички операции, но и поради тоа што се оперирало, на пример, со погрешни влезни податоци. Овде, кај компјутерскиот начин на проектирање, влезните податоци се преземаат од постојни, претходно формирани и проверени, влезни датотеки во кои се сместени основните физички и електромеханички карактеристики на елементите од надземниот вод.

Во пакетот DV" е вграден најголемиот дел од одредбите на важечкиот Правилник [1] па сега проектантот е ослободен од потребата децидно и во целост да ги познава сите важечки прописи, предвидени со Правилникот. Во пакетот DV" е вградена и излезна тест-контрола на добиеното решение (контрола на задоволувањето на сите вообичаени технички услови). Уште во фазата на проектирање на водот, т.е. при самото разместување на столбовите долж трасата од водот, со програмот е практично оневозможено да се произведе технички неприфатливо решение. Програмот овозможува, меѓу другото, не само креирање на определено техничко решение и елиминација на можноста да се добие технички неисправно решение, туку и печатење на сите потребни излезни табели во погодна завршна форма, која ќе биде таква што тие ќе можат слободно да бидат приложени во самиот главен проект на водот.

2.3. Потребна база на податоци

Сите потребни влезни податоци кои се однесуваат физичките или техничките карактеристики на одделните елементи од кои се состојат надземните водови се преземаат од постојни, претходно формирани, влезни датотеки, кои ја сочинуваат базата на влезните податоци. Таква база на податоци се прави за столбовите, изолаторите, спроводниците/јажињата но и за некои од одредбите на Правилникот [1] кои се однесуваат на сигурносните висини на спроводниците над пресечните објекти.

Столбови. За сите столбови коишто се произведувале или произведуваат, а имаме намера да ги користиме, се формира база на податоци во која се содржани следните елементи: производител и ознака, номинални податоци за столбот, материјал, табела на дозволените сили, дискретни висини, диспозиција и димензии на главата на столбот и податоци за темелите.

Изолатори. За сите изолатори/изолаторски вериги коишто се применуваат кај нас се собрани следните податоци во базата: ознака, состав, должина и тежина.

Спроводници/јажиња. За сите спроводници и јажиња коишто се стандардизирани со македонските стандарди се наоѓаат податоци во базата: ознака според MKS-стандардите, вистински (вкупен) напречен пресек, надворешен пречник, тежина по единица должина, модул на еластичност, температурен коефициент на линеарното издолжување, нормално дозволено напрегање, исклучително дозволено напрегање и пресметковна сила на кинење.

Сигурносни висини. Сите пресечни објекти, специфицирани со Правилникот [1], а на коишто може да се најде долж трасата од предметниот вод, се дефинирани во оваа

база со своите називи и со пропишаните сигурносни висини на спроводниците над самите објекти.

Сите бази на податоци за кои досега беше зборувано можат дополнително да се менуваат, прошируваат и дополнуваат со нови типови производи на сосема едноставен начин од страна на самиот корисник.

2.4. Податоци за трасата

Пред да се премине кон проектирањето, ќе биде потребно за секое затезно поле од надземниот вод да биде снимена трасата. Трасата ја снима геометар на класичен начин и во основа, таа претставува множество од точки со точно зададени координати (стационажи и коти) и обележја (вид на почвата, култура и сл.) со кои можеме да ја нацртаме односно прикажеме во форма на една искршена линија. Трасата, претходно снимена од геометарот, ја внесуваме во компјутерот во форма на табела со помошна програма. За секоја точка од трасата се задаваат: стацио-нажата, котата, видот (обележјето) на теренот во таа точка и информацијата дали таа точка од трасата му припаѓа на некаков пресечен објект. Внесувањето на податоците за трасата е сосема едноставно и брзо (и по неколку километри за 1 час).

По внесувањето на податоците за трасата табеларно и визуелно се проверува точноста на внесените податоци и, по потреба, со истата програма се прават дополнителни корекции. Еднаш кога ќе се внесе и провери трасата, таа останува неизменета и може да се користи неограничен број пати, за формирање на разни варијанти на надземниот вод. На тој начин отпаѓа потребата од исцртување на трасата на паус заради претстојното графичко разместување на столбовите по неа.

2.5. Останати податоци

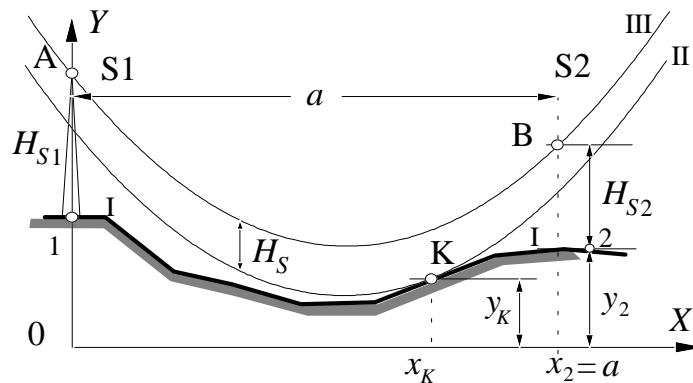
Голем дел од влезните податоци, неопходни за проектирање на разгледуваниот надземен вод, на програмот му се задаваат интерактивно, од страна на проектантот, уште на почетокот од работата со програмот. Тоа се главно податоците што се однесуваат на изборот на типот на спроводниците/јажињата, нивното напрегање, климатските параметри, потребните сигурносни височини долж трасата, аглите на скршнување на трасата, избор на типот на столбовите и изолаторите и друго.

3. ИНТЕРАКТИВНО РАЗМЕСТУВАЊЕ НА СТОЛБОВИТЕ ПО ДОЛЖИНАТА ТРАСАТА

3.1. Позиционирање на верижникот

За да го објасниме принципот на кој со пакетот "DV" се врши интерактивното разместување на столбовите долж трасата, ќе ја посматраме најнапред сликата 1 на која е прикажан еден столб (S_1) со висина H_{S1} и дел од трасата, десно од него. Надолжниот профил на трасата на оваа слика е претставен со искршена линија I, составена од поголем број сегменти. Основниот проблем е сега "шаблонот", кој се состои од два верижника II и III, (сл. 1), да се постави правилно, така што габарит-

ната крива II ќе ја тангира трасата I и наедно, верижникот III, којшто ја прикажува положбата на најнисиот спроводник од надземниот вод и којшто е транслаторно изместен нагоре во однос на габаритната крива II за сигурноста висина H_S , да минува низ левата точка на обесување A при столбот S1.



Слика 1. Автоматско поставување на шаблонот во даден распон

За да се постигне ова, потребно е најнапред да се определат координатите x_K и y_K на т.н. "критична точка" K во распонот. Критичната точка е единствената точка од трасата во која габаритната крива II ја допира трасата, како што е тоа прикажано на сликата 1.

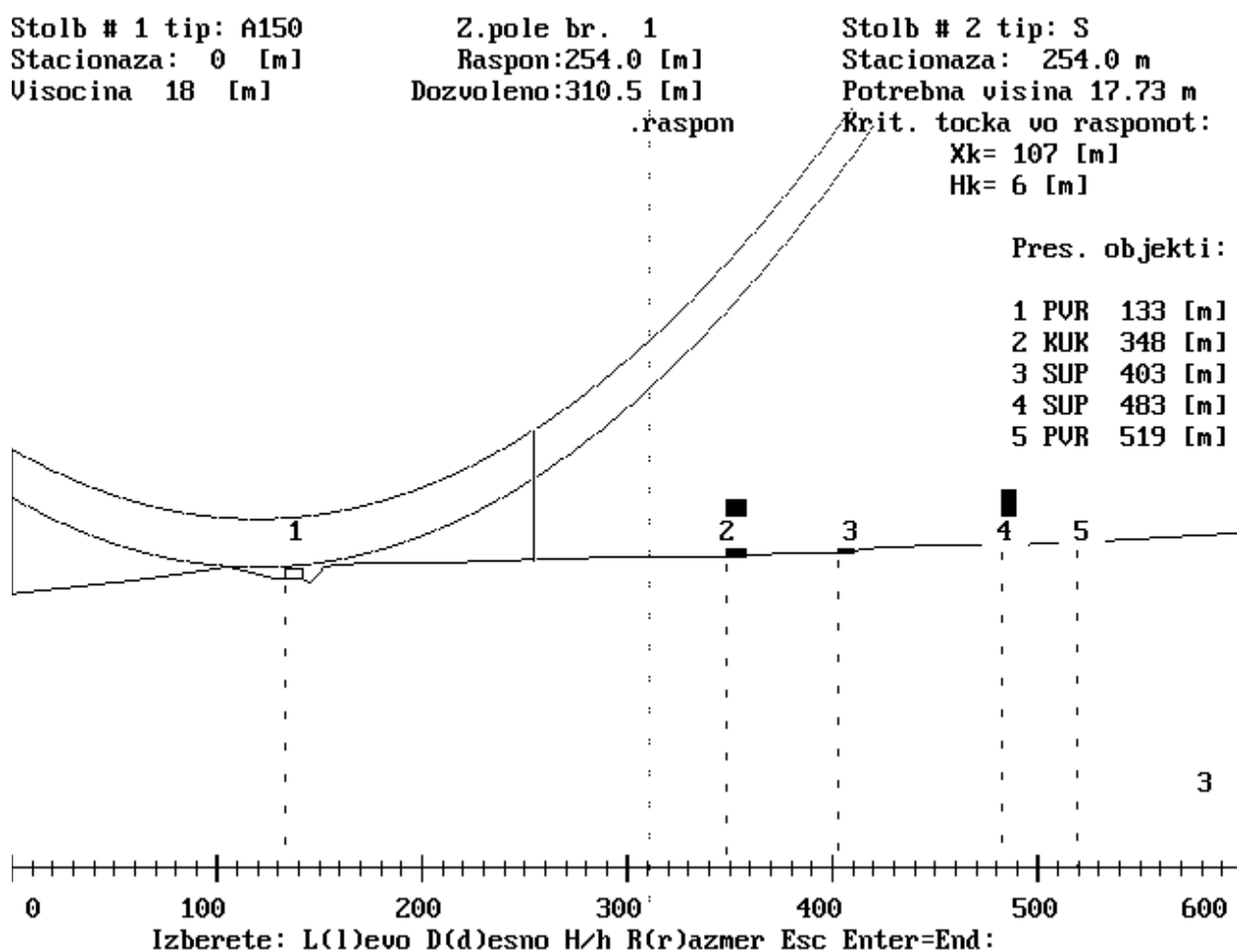
Положбата на критичната точка K, како што е познато, може да се определи сосема едноставно на класичниот, графички начин со поместување и нагудување на претходно изготвениот шаблон на надолжниот профил. Меѓутоа, кога оваа задача треба да се изврши аналитички, тогаш ќе биде потребно да се пребараат сите сегменти од трасата во разгледуваниот дел од неа и да се утврди најнапред во кој од нив се наоѓа критичната точка, па потоа да се определи нејзината точна положба. Значи, определувањето на положбата на критичната точка K се сведува повеќекратно повторување на една иста математичка операција која се состои во пресметување на вертикалното растојание помеѓу синџирницата II односно III и отсечката со која е претставен секој од сегментите на трасата. Откога ќе се утврдат положбата на критичната точка K и нејзините координати x_K и y_K , поставувањето на шаблонот на трасата за компјутерот претставува чисто геометриски проблем на цртање на една хипербола (везијникот II) која минува низ точките, A и K (сл. 1).

3.2. Поставување на столбовите долж трасата

После позиционирањето на шаблонот десно од зададениот столб S1, можеме да ја утврдуваме потребната висина H_{S2} на столбот S2, десно од него, за било која негова позиција (стационажа) x_2 сосема едноставно. Висината H_{S2} , според сликата 1, ќе биде еднаква на разликата на котата y_B на точката B, која ја има истата стационажа x_2 како и столбот S2 и наедно лежи на верижникот III, и котата y_2 на точката 2, т.е. $H_{S2} = y_B - y_2$. Но при изборот на стојното место на столбот S2 не е доволно да се знае само колкава ќе биде неговата висина H_{S2} , туку наедно ќе мора да се води сметка и потребните растојанија помеѓу спроводниците и јажињата во средината од распонот a како и за големината на силите кои што ќе се јават кај обата столба S1 и S2, т.е. за механичките ограничувања, дефинирани со т.н. табели на дозволени сили, пропишани од производителот. За таа цел со програмот претходно се пресметуваат

дозволените распони (гравитационен, ветров и електричен) за секој тип столб и овие податоци потоа се користат за проверка на прифатливоста на позицијата x_2, y_2 на десниот столб S2. Се разбира дека при изборот на позицијата на столбот S2 треба да се мисли и на многу други работи, какви што се, на пример, преостанатиот дел од трасата, неможнота столбовите да се поставуваат на некои определени локации, потребата столбовите да имаат воедначени висини и приближно подеднаков степен на механичка оптовареност и др. Сето тоа е нешто коешто му е препуштено на проектантот и претставува процес на одлучување, сврзан со многу нешта, какви што се, на пример, проектантското искуство, прифатената традицијата и др. Во таа смисла, програмскиот пакет "DV", раководејќи се од потребата столбовите да имаат приближно исти висини, врши некакво позиционирање на столбот S2, но дозволува тој да се поместува лево или десно, на било која друга позиција, доколку проектантот оценил дека има таква потреба. Сепак, при секое негово изместување, програмот врши проверка на сите предвидени технички ограничувања и веднаш го соопштува резултатот од тие проверки, не дозволувајќи десниот столб S2 да се постави на локација за која некое од споменатите ограничувања не ќе биде исполнето.

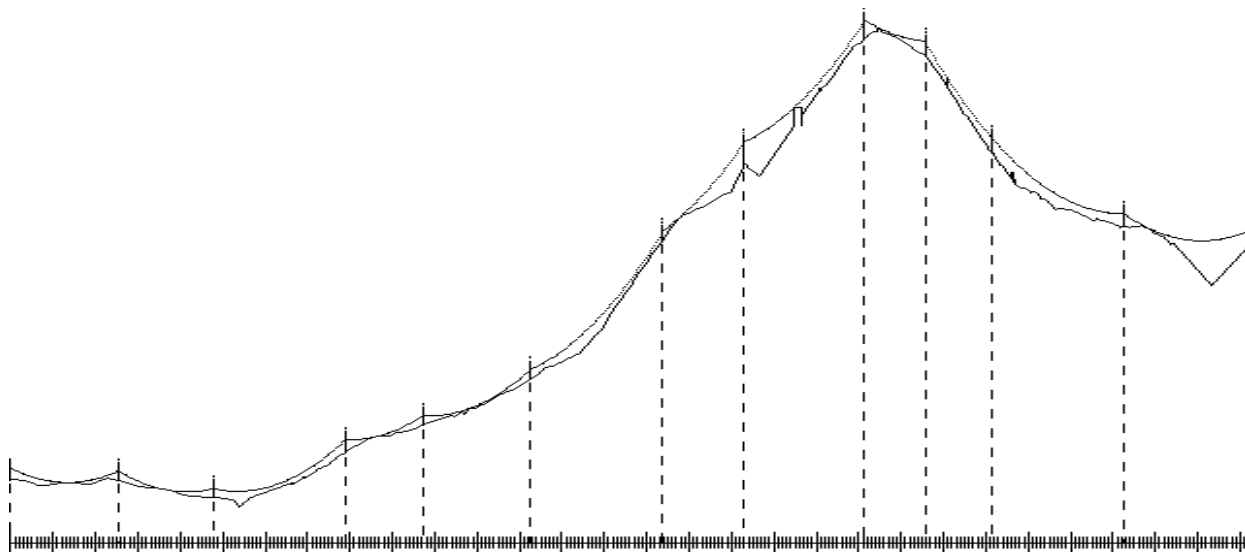
На сликата 2 е прикажан изгледот на екранот при поставувањето на десниот столб бр. 2 на една траса. На истата слика се гледа и "границата" прикажана со испрекинатата линија, до која може со него да се оди вдесно, и притоа сè уште да не бидат прекршени техничките ограничувања, предвидени со Правилникот.



Слика 2. Операција избор и позиционирање на следниот столб – приказ на екранот

Изборот на типот и висината, како и самото разместување на столбовите по должината на трасата се врши со повеќекратно повторување на операцијата опишана во претходната точка (сл. 2), сè додека со последниот столб не се стигне до крајот на затезното поле.

Откога ќе се разместат столбовите по должината на трасата од разгледуваното затезно поле и се генерира столбната листа со која за секој столб е дефинирана неговата стационажа, тип и височина, се врши најнапред инспекција на добиеното техничко решение со цел да се утврди дали се можни некои негови подобрувања (сл. 3). Во таа смисла, програмата му овозможува на корисникот да врши дополнителни измени на позициите (стационажите), типовите и височините на одделните столбови на сосема едноставен начин – по интерактивен пат, применувајќи систем менија преку кои тој ги соопштува на програмата своите желби. Откога таквите измени и подобрувања ќе се направат, се пристапува кон завршното тестирање на добиеното техничко решение.



Слика 3. Приказ на добиеното решение пред завршната тест–контрола

4. ПРОВЕРКА НА ТЕХНИЧКАТА ИСПРАВНОСТ НА РЕШЕНИЕТО

Во оваа фаза од проектирањето, која е практично последната, се врши излезна тест–контрола на добиеното техничко решение. Тестирањето се врши практично на сите ограничувања предвидени со Правилникот [1], и тоа:

1. на височините на спроводниците над тлото;
2. на височините на спроводниците над пресечните објекти;
3. на растојанијата помеѓу спроводниците/јажињата во средината од распонот;
4. на големината на хоризонталните сили преку т.н. ветрови распони;
5. на големината на вертикалните сили преку т.н. гравитациони распони;
6. на напрегањата во овесиштата на спроводниците и јажињата;
7. на сигурносните растојанија при главата од столбовите, преку големината на аголот на отклон на висечките изолаторски вериги.

Тестирањето на добиеното техничко решение може да се врши наеднаш, за сите предвидени контроли, или одделно за било која од нив.

5. ИЗЛЕЗНИ РЕЗУЛТАТИ И ТАБЕЛИ

Излезните резултати што ги генерира овој програмски пакет се печатат во форма на табели, на самиот екран или пак директно на печатачот (принтерот). Тие се однесуваат на посматраното (проектираното) затезно поле и имаат завршна форма, погодна за директно вметнување во самиот главен проект на надземниот вод, без потреба од нивно дополнително обликување. Со пакетот "DV" е овозможено печатење на следните излезни табели:

1. Монтажни табели на провесите и напругањата на спроводниците и заштитните јажиња, за разни температури на амбиентот, во температурниот интервал од -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
2. Табелите на сили за некои или пак за сите столбови во затезното поле;
3. Столбната листа на предметното затезно поле;
4. Табела со височините на спроводниците над тлото во поедините распони од затезното поле;
5. Табела со височините на спроводниците над поедините пресечни објекти што припаѓаат на посматраното затезно поле;
6. Табела на растојанијата помеѓу спроводниците/јажињата во средината од распонот при $+40^{\circ}\text{C}$ и во услови без ветар, согласно членовите 28 ... 34 од Правилникот, за секој распон од посматраното затезно поле;
7. Табела на ветровите (средните) распони на сите столбови од посматраното затезно поле;
8. Табела на гравитационите распони на сите столбови од посматраното затезно поле;
9. Табела на напругањата во спроводниците при -5°C и во услови на постоење на исклучителен зимски додатен товар (според чл. 19 и 20 од Правилникот).
10. Табела на аглите на отклон на носечките изолаторски вериги под дејство на ветрот кој дејствува со 15% и со 100% од својот полн притисок, согласно Правилникот.

6. ЗАКЛУЧОК

Со појавата на релативно ефтините, а сепак моќни персонални компјутери, практично на секој инженер-проектант му е овозможено да се служи со разни софтверски алатки и апликативни програми при решавањето и техничкото оформување на низа проблеми и задачи од доменот на неговото работење. Програмскиот пакет "DV" претставува една таква апликација. Неговото користење не е сврзано практично со никакво претходно искуство во работата со компјутерите ниту пак од неговиот корисник бара некакво програмерско предзнаење. Од корисникот се бара единствено да ја познава физичката суштина на проблематиката на проектирањето на надземните водови и барем да има скромно проектантско искуство.

Од изложеното во трудов се гледа дека со примена на програмскиот пакет "DV" за проектирање на надземните водови се елиминира потребата од исцртување и употреба на надолжните профили на трасата, а тоа претставува огромна заштеда на труд, време и средства. Тој овозможува висок степен на автоматизација при проектирањето и конечно, овозможува брзо и сосема едноставно изготвување на

најголемиот дел од потребната техничка документација. Наедно, тој обезбедува и висока точност во пресметките, почитување на сите ограничувања наметнати со нашите прописи и практично ја елиминира можноста за добивање на технички неисправно решение.

Големата брзина на пресметување и автоматската проверка на техничката исправност на разгледуваното решение го ослободуваат проектантот од рутинскиот дел на работата и со тоа му даваат можност својата концентрација да ја посвети на најбитните работи во процесот на проектирање. На тој начин се зголемува неговата креативност и можноста за варијантни истражувања на поголем број разни согледани технички решенија, па сега имајќи можност за експериментирање со повеќе разнородни варијанти за кусо време, на проектантот му се овозможува да добие не само технички исправно решение, туку и да избере економски најповолно решение, т.е. решение кое ќе биде оптимално, или барем блиску до оптималното.

7. Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Технички нормативи за градба на надземни електроенергетски водови. Службен лист на СФРЈ, бр 65, ноември 1988.
- [2] Granski standardi Elektrovivrede. Tehni~ki normativi za gradnju nadzemnih elektro-energetskih vodova sa komentarom. GSE, Beograd 1980.
- [3] M. Plaper, *Principi optimalnosti u mre`ama za prenos i distribuciju elektri~ne energije*. ZJE Beograd, 1980.
- [4] *Програмски пакети "DV" наменети за проектирање на надземни водови со помош, на персонални компјутери*. Програмски пакет, изготвен на Електротехничкиот факултет во Скопје, 1991 г.
- [5] Р. Ачковски, *Упатство за користење на програмскиот пакет "DV"*. Електротехнички факултет – Скопје, 1991.