

QƏHRƏMANOVA SAMİRƏ HƏSƏN QIZI

**ELEKTROMAQNİT TƏSİRİ ŞƏRAİTİNDƏ
TEXNOSFERANIN İKİNCİ DÖVRƏLƏRİNDƏ
TƏSİR ENERJİSİNİN TƏDQIQI**

3341.01 - Elektrik stansiyaları (elektrik hissəsi)
və elektroenergetik sistemləri

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ – 2015

İş Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Texnika elmləri doktoru, professor

T.M. Lazımov

Rəsmi opponətlər:

Akademik, texnika elmləri doktoru,
professor

A.M. Həşimov

Texnika elmləri namizədi, dosent

E.N. Hüseynov

Aparıcı təşkilat: Sumqayıt Dövlət Universiteti

Müdafiə AZ – 1073, Bakı şəhəri, H.Cavid pr. 25 ünvanında yerləşən Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdindəki B/D 02.031 Dissertasiya Şurasının iclasında “ 24 ” iyun 2015-ci il tarixdə saat 11⁰⁰-da keçiriləcəkdir.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “ 20 ” may 2015-ci il tarixində göndərilmişdir:

**B/D 02.031 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi, tex.e.n., dos.**

E.B.Gözəlov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Dissertasiya mövzusunun aktuallığı. Müasir dövrdə insan cəmiyyətinin inkişafı nəticəsində yaşadığımız məkanda müxtəlif təyinatlı texniki qurğular və kommunikasiyaların sıxlaşması baş verir. Bu proses özünü daha çox elektrotexnosferada biruzə verərək texniki qurğu və kommunikasiyaların qarşılıqlı elektromaqnit təsiri şəraitində etibarlı fəaliyyət göstərməsi məsələsini kəskinləşdirir. Elektrik sistemlərində elektromaqnit uyğunluğu məsələlərini koordinasiə etmək üçün CİGRE-də hətta xüsusi tədqiqat komitəsi (SC C4 System Technical Performance) yaradılmışdır.

Elektromaqnit uyğunluğunun təmin olunması bir sıra yeni məsələləri ortalığa qoyur. Aparılan tədqiqatlar bir qayda olaraq elektromaqnit təsirlərinə məruz qalan ikinci dövrə və kommunikasiyalarında (elektrik veriliş xətlərinin yüksək tezlik kanalları, rabitə xətləri, dəmir yolunun avtomatika, telemexanika, rabitə kommunikasiyaları, müxtəlif təyinatlı ölçmə, rele mühafizəsi dövrləri, kosmik rabitə stansiyaları və sistemləri, neft, qaz və su kəmərləri və s.) induksiya olunmuş gərginliyi təyin etməklə kifayətlənir. İkinci dövrlərdə baş verən proseslər əsaslı dərəcədə öyrənilmədiyinə görə onların qarşılıqlı elektromaqnit təsiri şəraitindəki etibarlılığı qiymətləndirilə bilmir. Halbuki, etibarlılıq şərtləri artıq işlənmişdir.

Çağdaş dövrdə elektromaqnit uyğunluğunun ümumi aktuallığı, bu sahədə aparılan elmi tədqiqatların inkişafına olan ehtiyac dissertasiyanın mövzusunun aktuallığına dəlalat edir.

Dissertasiyanın məqsədi. Dissertasiyanın məqsədi elektromaqnit təsiri şəraitində texnosferanın ikinci dövrlərində baş verən proseslərin öyrənilməsi üçün nəzəri və hesabi bazanın inkişaf etdirilməsidir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

- 1) birinci (güc) dövrlərin ikinci dövrlərə elektromaqnit təsiri sahəsində bəzi təsnifatlar və terminlərin təhlili və dəqiqləşdirilməsi;
- 2) qeyri – sinusoidal dövrə (periodik) və aperiodik elektromaqnit təsirlərinə məruz qalan dövrlər üçün ümumiləşdirilmiş impedans anlayışının inkişaf etdirilməsi və onun hesabı üçün yeni ifadələrin alınması;
- 3) ikinci dövrlərdə istifadə olunan tezlikdən asılı rezistorun ümumiləşdirilmiş impedansının müxtəlif təsir halları üçün tədqiq olun-

ması;

- 4) müxtəlif formalara malik olan dövrü qeyri – sinusoidal təsirlər halları və tipik ikiqütblülər üçün ümumiləşdirilmiş impedans cədvəllərinin işlənilib hazırlanması;
- 5) texnosferanın birinci dövrlərində baş verən (hesabi) kommutasiya rejimləri ilə əlaqədar ikinci dövrlərdə dissipasiya olunan enerjinin hesabı üçün metodiki təminatın işlənməsi;
- 6) yerin dielektriki xassələrini nəzərə almaqla hava elektrik xətlərinin qarşılıqlı impedansının ədədi hesabının təkmilləşdirilməsi.

Dissertasiyanın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. dövrü (periodik) və aperiodik qeyri – sinusoidal təsirlər halları üçün ümumiləşdirilmiş impedans anlayışı inkişaf etdirilmişdir, ümumiləşdirilmiş impedansın hesabı üçün yeni ifadələr alınmışdır, o cümlədən RL və RC ikiqütblülərinə düzbucaqlı impulsun təsiri halı üçün. Müxtəlif formalara malik olan dövrü təsirlər halları üçün ümumiləşdirilmiş impedans cədvəlləri işlənmişdir;
2. tezlikdən asılı rezistorun dövrü və qeyri dövrü unipolyar təsirlər halları üçün ümumiləşdirilmiş impedansları qiymətləndirilmişdir, göstərilmişdir ki, örtüklü rezistorun istifadə olunması eyni ölçülü örtüksüz rezistorla müqaisədə məqsədəuyğundur;
3. ikinci dövrlərdə elektromaqnit təsirinin qiymətləndirilməsi üçün birinci dövrlərinin hesabi (ən təhlükəli) kommutasiya rejimləri təyin edilmiş, ikinci dövrlərdə dissipasiya olunan enerjinin paylanmasının hesabı üçün yeni metodika işlənmişdir;
4. yer səthinin müxtəlif növləri üzərindən keçən hava elektrik xətlərinin qarşılıqlı impedansının hesabında uzununa dəyişmə cərəyanlarının nəzərə alınması məqsədəuyğunluğu təyin edilmiş, bu məsələdə Uayze formasında Karson inteqralının hesabi xüsusiyyətləri tətbiq edilmişdir.

Dissertasiyanın praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiyanın nəticələri ikinci dövrləri təşkil edən qurğu, cihaz və xətlərin birinci dövrlərin intensiv elektromaqnit təsiri şəraitində etibarlı işləməsinə layihə mərhələsində təmin etmək üçün zəmin yaradır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas mülahizələr.

1. dövrü təsirlər hallarında ümumiləşdirilmiş impedansın hesabı üçün ifadələr;
2. aperiodik (düzbucaqlı impuls) təsiri hallarında RL və RC ikiqütblülərinin ümumiləşdirilmiş impedansın hesabı üçün ifadələr;

3. tezlikdən asılı rezistorun ikinci dövrlərdə baş verən proseslərə təsirinin tədqiqi;
4. ikinci dövrdə birinci dövrənin təsiri nəticəsində dissipasiya olunan enerjinin paylanmasının hesabı üçün yeni metodika.

Dissertasiyanın nəzəri bazasını dövrlər nəzəriyyəsi və impedans nəzəriyyəsi, Fürye sıraları nəzəriyyəsi, elektrik sistemlərində keçid prosesləri nəzəriyyəsi təşkil edir.

İşin sınaqması. Dissertasiyanın əsas mülahizələri və nəticələri 2000, 2005, 2008-ci illərdə Azərbaycan Texniki Universitetində keçirilən Universitet və Respublika miqyaslı və həmçinin AzTU «Avtomatika və idarəetmə» kafedrasının seminarlarında müzakirə edilmiş, 2013-cü ildə İCTTE konfransında təqdim edilmişdir (Yambol, Bolqarıstan).

Nəşrlər. Dissertasiya üzrə 16 əsər nəşr edilmişdir, o cümlədən «AMEA Xəbərləri», «Energetikanın problemləri» və «Elektrotexnika və Elektromexanika» (Ukrayna, Xarkov şəhəri) jurnallarında.

Dissertasiya işinin həcmi və strukturu: Dissertasiya giriş, dörd fəsil, nəticə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarətdir. İşin ümumi həcmi 168 səhifədir. Əsas mətn şəkil və cədvəllər daxil olmaqla 141 səhifə təşkil edir. İşdə 23 şəkil, 20 cədvəl, 113 adda istifadə edilmiş ədəbiyyatın siyahısı, 17 səhifədə əlavələr verilmişdir.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı, dissertasiyanın məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti, nəzəri bazası haqqında məlumat verilmiş, dissertasiyanın sınaqması, müəllifin ona aid olan nəşrləri, işin həcmi və strukturu göstərilmişdir.

Dissertasiyanın birinci fəslində elektromaqnit uyğunluğu sahəsinə aid olan bir sıra problemlər (metodik, terminoloji, elmi, hüquqi və s.) haqqında məlumat verilmiş, qəbul olunmuş təsirlər təsnifatı elektrik sistemlərində baş verən və onların rejimlərinin xüsusiyyətlərini əks edən səciyyələri nöqtəyi-nəzərdən təkmilləşdirilmişdir.

Texnosfera, elektromaqnit uyğunluğu və mühiti anlayışları təhlil edilmişdir, elektromaqnit uyğunluğu üzrə Avropa qanunvericiliyi (Direktivi) haqqında müxtəsər məlumat verilmiş, standartlar, ca-

vabdehlik, ekranlaşdırma, gərginliyin kəskin dəyişmələrinin təsiri və dayanıqlıq məsələləri nəzərdən keçirilmişdir.

Texnosferanın ikinci dövrlərinə birinci dövrlərin təhlükəli elektromaqnit təsirlərinin mənbələri (o cümlədən, yenilikcə aşkar edilənləri) və növləri təqdim edilmişdir.

Elektromaqnit uyğunluğu sahəsində terminologiya və təsnifata aid bəzi məsələlərə baxılmışdır. Keçən əsrin səksəninci illərində işlənmiş elektromaqnit təsirlər və onların fəsadlarının ənənəvi təsnifatı yenidən işlənmiş və bu təsnifat elektrik enerji sistemlərində baş verən səciyyəvi proseslər, onların sürəkliliyi və dəfəliliyi nöqtəyi - nəzərindən dəqiqləşdirilmiş və təkmilləşdirilmişdir.

Dissertasiyada işlənmiş yeni təsnifat cədvəl 1-də verilmişdir. Ənənəvi təsnifata gətirilmiş dəyişiklik və dəqiqləşmələr kursivlə göstərilmişdir.

Cədvəl 1

Hadisələr	Sürəklilik	Dövrə üçün daxili olan səbəb	Nəticə	Dövrə üçün xarici olan səbəb	Nəticə
Sabit	Uzunmüddətli	Gərginlik, təhrif olunan cərəyanlar	İnduksiya edilmiş gərginliklər, harmonikalar	Sabit cərəyanlar	Korroziya
Müvəqqəti	Bir neçə saat və ya gün ərzində bir neçə saniyə və ya millisaniyə	Yükün, dəyişməsi, qısaqapanmalar, <i>qısaqapanmaların açılması</i> , ferromagnets, <i>sil-silə açılmalar</i> , boşaldıcıların işləməsi	Gərginlik rəqsləri, ifrat gərginliklər, harmonikalar	Digər hava və kabel xətləri ilə <i>ya-xınlaşma</i> (o cümlədən, paralel) və <i>kəsişmə</i>	İnduksiya edilmiş uzununa e.h.q.-lər
Kəçid	Bir neçə saniyə ərzində bir neçə nano və mikro saniyə	Güc elektronikasi qurğularının (o cümlədən, tiristor açarlarının) işləməsi	<i>Dövrədə gərginlik və cərəyan sıçrayışları</i>	İldırım, nüvə, elektromaqnit impulsu	İzolyasiyanın <i>zədələnmələri</i> , <i>ikinci dövrlərdə pozulmalar</i> , <i>zədələnmələr</i> , <i>mühafizənin yanlış işləmələri</i>

Dissertasiyanın ikinci fəslində nəzəri elektrotexnikanın əsas məfhumlarından olan impedans anlayışı təhlil edilmişdir. Xüsusən, sinusoidal olmayan dövrü gərginlik halı üçün ümumiləşdirilmiş impedansın (Üİ) hesabı üçün ümumi ifadələr alınmış, bəzi təsir formaları üçün ədədi qiymətləndirmələr aparılmışdır. Bundan əlavə, RL və RC dövrələrinə vahid düzbucaqlı gərginliyin tətbiq olunması halı üçün ümumiləşdirilmiş impedansların ifadələri alınmış və impulsların sürəkliliyindən asılı olaraq ədədi cəhətdən qiymətləndirilmişdir.

L.Landau və Y.Lifşits, A.Anqo, R.Feynman, K.Kruq və A.Ramm tərəfindən verilmiş impedansın tərifləri təhlil edilmişdir.

Prof. K.A.Kruqun “Elektrotexnikanın əsasları”nda bir elementli ikiqütblülər olan kondensator və induktivlik sarğılarının parametrlərinin hesabı verilir. İkiqütblüyə sinusoidal olmayan gərginliyin tətbiq olunduğu zaman cərəyan və gərginlik əsas harmonikalarının təsiredici qiymətlərinin münasibəti kimi impedans anlayışının istifadəsi əsasında bu zaman göstərilən ifadələrlə induktivlik və tutumun real qiymətlərinin qeyri adekvatlığı müəyyən edilmişdir.

Dissertasiyada elektrik dövrəsinin ümumiləşdirilmiş impedansı üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır (dövrü təsir halı üçün)

$$Z = Z(\omega) \prod_{\substack{m=0 \\ m \neq 1}}^{\infty} \bar{Z}(m\omega) \sqrt{\frac{1 + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq 1}}^{\infty} \bar{U}_n^2}{\prod_{\substack{m=0 \\ m \neq 1}}^{\infty} \bar{Z}^2(m\omega) + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq 1}}^{\infty} \bar{U}_n^2 \prod_{\substack{m=0 \\ m \neq 1}}^{\infty} \bar{Z}^2(m\omega)}}} \quad (1)$$

burada $Z(\omega)$ birinci harmonikadakı impedans, $\bar{Z}(\omega)$ m-ci harmonikadakı impedans (birinci harmonikadakı impedansa nisbətə), $\bar{U}_n$ n-ci harmonikanın nisbi gərginliyidir.

Impedansın gərginliyi qeyri-sinusoidalılıqla əlaqədar olan dəyişməsi nisbi ümumiləşdirilmiş impedans vasitəsilə aşağıdakı kimi təyin oluna bilər

$$\bar{Z} = Z Z^{-1}(\omega). \quad (2)$$

Aşağıdakı cədvəldə 50 Hersli qeyri - sinusoidal periodik gərginliyinin müxtəlif formaları RL konturuna (birinci harmonikadakı impedansın modulu 6,362 Om) tətbiq edildikdə nisbi ümumiləşdirilmiş impedansın hesabi modulları verilmişdir.

Cədvəl 2

<i>Nö</i>	<i>Tətbiq edilən gərginliyin forması</i>	<i>Ümumiləşdirilmiş impedansın modulu, Om</i>	<i>Nisbi ümumiləşdirilmiş impedansın modulu</i>
1.	<i>Vahid amplitudalı dövrü bipolyar düzbucaqlı</i>	6,87	1,08
2.	<i>Vahid amplitudalı dövrü unipolyar düzbucaqlı (tək funksiya)</i>	1,66	0,26
3.	<i>Vahid amplitudalı cüt unipolyar düzbucaqlı (cüt funksiya)</i>	1,92	0,30

Cədvəldən göründüyü kimi impedansın qeyri-sinusoidalılıqla əlaqədar olan dəyişməsi əhəmiyyətli ola bilər. Məsələn tətbiq olunan gərginliyin formasının sinusoidalından həmin tezlikli düzbucaqlı bipolyar təsirə dəyişməsi impedansın modulunun 8% artmasına gətirib çıxarır. Cədvəlin 2-ci və 3-cü sətirlərindəki müşahidə olunan daha kəskin dəyişmə müvafiq təsirlərin Furiye ayrımalarında sabit (aperiodik) gərginliyin əmələ gəlməsi ilə əlaqədardır.

Dissertasiyada ümumiləşdirilmiş impedans halları qeyri – dövrü gərginlik təsiri hallarınadək genişləndirilmişdir. $F(\omega)$ gərginlik funksiyasıdırsa, onda qeyri-dövrü təsirlər halı üçün ümumiləşdirilmiş impedans bərabərdir

$$Z = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega} / \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{F(\omega)}{Z_{\omega}} \right|^2 d\omega . \quad (3)$$

Burada Z_{ω} vasitəsilə cari tezlikli impedans modulu işarə edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, tək vahid düzbucaqlı impuls təsiri halı üçün RL dövrəsinin ümumiləşdirilmiş impedansının modulu bərabərdir

$$Z = R \sqrt{\frac{\tau}{\tau - \left(1 - e^{-\frac{R}{L}\tau}\right) \frac{L}{R}}} \quad (4)$$

burada τ impulsun sürəkliliyidir.

RC dövrəsi üçün isə

$$Z = \sqrt{\frac{\tau}{\frac{C}{R} \left(1 - e^{-\tau / RC}\right)}} \quad (5)$$

ifadəsi alınmışdır.

Alınan ifadələr təhlil edilmişdir. Göstərilmişdir ki, RL konturunda τ -nün sonsuzluğa yaxınlaşması (tezliyin azalması mənasını daşıyan prosesdir) Z -in R -ə yaxınlaşması ilə nəticələnir, RC konturu üçün isə əksinə, impedans sonsuzluğa yaxınlaşır.

İmpulsun sürəkliliyinin sıfıra yaxınlaşması isə fiziki cəhətdən tezliyin artması kimi yozula bilər. Həqiqətən də, (4) və (5) ifadələrində bu hal üçün RL dövrəsi üçün ∞ , RC dövrəsi üçün isə R qiymətini alırıq. Bu nəticələr fiziki cəhətdən tamamilə adekvatdır.

Müxtəlif təsirlər halı üçün (dövri və bipolyar qeyri-dövri) texnosferanın ikinci dövrlərində geniş istifadə olunan tezlikdən asılı rezistorun (örtüklü və örtüksüz), onun tezlik xarakteristikaları əsasında ümumiləşdirilmiş impedansı tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, örtüklü rezistorlar cərəyan məhdudlaşdırıcı xassələri ilə yanaşı özlərində daha az aktiv güc ayırırlar.

Dissertasiyanın üçüncü fəslində RL və RC ikiqütblülərinin periodik bipolyar düzbucaqlı gərginlik, periodik unipolyar düzbucaqlı gərginlik, biryarımpriodlu sinusoidal gərginlik, ikiyarımpriodlu sinusoidal gərginlik halları üçün ümumiləşdirilmiş impedansları hesablanmış və cədvəlləşdirilmişdir. Kondensator və induktiv sarğılarda kommutasiya proseslərində keçid reaktiv müqavimətlərinin sərbəst

tezliklər və qoşulmalar ilkin bucaqlarından asılı olaraq qiymətləri hesablanmış və cədvəlləşdirilmişdir. Kondensatorun keçid reaktiv müqavimətinin ifadəsi ilkin qoşulma bucağına nəzərən ekstremumu təyin edilmişdir.

Bir sıra məlum dövrü (50 Hs tezliyində) təsirlər üçün onları təsvir edən funksiyaların Furiye sırasına ayrılımları nəticəsində alınan nisbi ümumiləşdirilmiş impedansların qiymətlərini təhlil edək.

RL dövrələrinin ümumiləşdirilmiş impedansı ən az düzbucaqlı bipolyar təsirdə dəyişməyə məruz qalır. Baxılan ikiqütblü üçün ($R=1$ Om, $L=0,02$ Hn) ümumiləşdirilmiş impedans birinci harmonika impedansına nəzərən 8,3% artır. İnduktivliyin dəyişməsi bu qiymətə demək olar ki, təsir etmir. L hətta 200000 dəfə artdıqda ümumiləşdirilmiş impedansının qiyməti 1,084-ni aşmır.

Həmin ikiqütblüyə unipolyar dövrü gərginlik tətbiq edildiyi hallarda (biryarımpériodlu sinusoidal və düzbucaqlı) vəziyyət tamam fərqli olur. Üİ vahiddən kiçik olur. Bu onunla bağlıdır ki, bipolyar təsirdən fərqli olaraq, unipolyar təsirlərdə gərginlik funksiyasının Furiye ayırmasında sabit mürəkkəbə əmələ gəlir, bu isə, öz növbəsində, induktivliyin rolunu azaltmış olur. İkiyarımpériodlu gərginlik tətbiq edildikdə isə RL ikiqütblüsünün nisbi ümumiləşdirilmiş impedansı yenidən artır. Tezliyin biryarımpériodlu təsirlə müqaisədə ikiqat artması induktiv müqavimətin artması ilə əlaqədardır.

Qeyd edək ki, unipolyar dövrü təsirlər hallarında induktivliyin artırılması ümumiləşdirilmiş impedansın əhəmiyyətli dərəcədə alçalmasına gətirib çıxarır. Bu onunla əlaqədardır ki, aperiodik təsir üçün induktivliyin artması rol oynamır, ancaq müvafiq zaman sabitinin artması induktivlik faktorunu zəiflədir.

RC ikiqütblüləri üçün bütün baxılan təsir halları üçün qeyri-sinusoidalıq ümumiləşdirilmiş impedansı alçaldır. Hesablanan ikiqütblü üçün zaman sabitinin artırılması baxılan dörd təsir hallarının 3-ü üçün nisbi ümumiləşdirilmiş impedansın yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Birinci halda (düzbucaqlı bipolyar dövrü təsir) bu yüksəliş əhəmiyyətlidir, ikinci və üçüncü hallarda (düzbucaqlı unipolyar və biryarımpériodlu sinusoida) nisbətən azdır. Dördüncü baxılan təsir halı üçün (ikiyarımpériodlu düzlənmiş sinusioda) zaman sabitinin artırılması RC konturunun nisbi ümumiləşdirilmiş impedansının alçalması ilə nəticələnir. Bunun səbəbi tutumun artması ilə bağlıdır, bu isə

öz növbəsində $(\omega C)^{-1}$ və ümumiləşdirilmiş impedansının nisbi qiymətini azaldır. İkinci və üçüncü hallardakı ümumiləşdirilmiş impedansının kiçik dəyişməsi Furiye ayrımalarındakı sabit mürəkkəbənin kondensatordan keçməməsi ilə əlaqədardır.

Aşağıdakı cədvəllərdə bir sıra hesabi hallar üçün Üİ-nin qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 3

*Dövri bipolyar düzbucaqlı təsir, RL ikiqütblüsü
($R=1\text{ Om}$; tezlik $f=50\text{ Hs.}$)*

<i>İkiqütblünün zaman sabiti, san</i>	<i>Ümumiləşdirilmiş impedansın modulu</i>	
	<i>Mütləq, Om</i>	<i>Nisbi</i>
<i>0,01</i>	<i>3,5714</i>	<i>1,0833</i>
<i>0,02</i>	<i>6,8954</i>	<i>1,0838</i>
<i>0,05</i>	<i>17,061</i>	<i>1,0839</i>
<i>0,1</i>	<i>34,071</i>	<i>1,0840</i>
<i>0,2</i>	<i>68,116</i>	<i>1,0840</i>
<i>0,5</i>	<i>170,27</i>	<i>1,0840</i>
<i>1,0</i>	<i>340,54</i>	<i>1,0840</i>
<i>2,0</i>	<i>681,08</i>	<i>1,0840</i>
<i>5,0</i>	<i>1702,7</i>	<i>1,0840</i>
<i>10</i>	<i>3405,4</i>	<i>1,0840</i>

Kondensator və sarğıların keçid rejimlərində reaktiv müqavimətləri təhlil edilmiş və məlum

$$X = \left(\int_0^T u^2(t) dt \bigg/ \int_0^T i^2(t) dt \right)^{1/2}$$

ifadəsi əsasında onlar üçün əvvəllər alınan düsturlar ekstremumu təhlil edilmişdir. Nəticədə, sərbəst tezlik və ilkin faza bucağı üzrə törəmələr üçün ifadələr alınmış, müvafiq ayrilər qurulmuş, cədvəllər tərtib edilmişdir.

Cədvəl 4

Dövri bipolyar düzbucaqlı təsir, RC ikiqütblüsü (R=1 Om; f=50 Hs.)

<i>İkiqütblünün zaman sabiti, san</i>	<i>Ümumiləşdirilmiş impedansın modulu</i>	
	<i>Mütləq, Om</i>	<i>Nisbi</i>
0,0000001	14188	0,44574
0,0000002	7094,2	0,44574
0,0000005	2837,7	0,44574
0,000001	1418,9	0,44575
0,000002	709,43	0,44575
0,000005	283,79	0,44577
0,00001	141,92	0,44585
0,00002	71,010	0,44616
0,00005	28,545	0,44833
0,0001	15,514	0,45575

Cədvəl 5

Dövri unipolyar düzbucaqlı təsir, RL ikiqütblüsü (R=1 Om; f=50 Hs.)

<i>İkiqütblünün zaman sabiti, san</i>	<i>Ümumiləşdirilmiş impedansın modulu</i>	
	<i>Mütləq, Om</i>	<i>Nisbi</i>
0,01	1,5458	0,48404
0,02	1,6787	0,2639
0,05	1,7068	0,10844
0,1	1,7111	0,05444
0,2	1,7121	0,02725
0,5	1,7124	0,01090
1,0	1,7125	0,00545
2,0	1,7125	0,00273
5,0	1,7125	0,00109
10	1,7125	0,00055

Cədvəl 6

Dövri unipolyar düzbucaqlı təsir, RC ikiqütblüsü (R=1 Om; f=50 Hs.)

<i>İkiqütblünün zaman sabiti, san</i>	<i>Ümumiləşdirilmiş impedansın modulu</i>	
	<i>Mütləq, Om</i>	<i>Nisbi</i>
0,0000001	17478	0,54909
0,0000002	8739,0	0,54909
0,0000005	3495,6	0,54909
0,000001	1747,8	0,54909
0,000002	873,91	0,54909
0,000005	349,58	0,54912
0,00001	174,82	0,54922
0,00002	87,474	0,54960
0,00005	35,163	0,55228
0,0001	17,879	0,56141

Aşağıdakı cədvəllərdə kondensator və sarğıların sərbəst tezlik və ilkin faza bucaqlarından asılı olaraq hesablanmış hesabi nisbi reaktiv müqavimətləri verilmişdir.

Cədvəl 7

H_c-nin hesabi qiymətləri

ψ, rad f, Hs	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,791	0,723	0,681	0,653	0,633
150	0,745	0,577	0,509	0,471	0,447
200	0,729	0,475	0,402	0,365	0,343
250	0,721	0,400	0,330	0,297	0,277
300	0,717	0,344	0,279	0,249	0,233
350	0,714	0,301	0,241	0,215	0,200
400	0,713	0,267	0,212	0,189	0,175
450	0,712	0,239	0,189	0,168	0,156

Cədvəl 8

H_L-in hesabi qiymətləri

ψ, rad f, Hs	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,041	1,083	1,112	1,157	1,188
150	1,051	1,196	1,317	1,414	1,495
200	1,055	1,343	1,557	1,720	1,850
250	1,057	1,515	1,823	2,050	2,227
300	1,058	1,703	2,105	2,393	2,616
350	1,059	1,902	2,396	2,744	3,012
400	1,059	2,110	2,693	3,412	3,412
450	1,060	2,323	2,995	3,460	3,816

Dördüncü fəsildə bir sıra əhəmiyyətli məsələlərə baxılmışdır, o cümlədən birinci dövrlərin hesabi kommutasiyaları təyin edilmişdir, texnosferanın ikinci dövrlərində təsir enerjisinin hesablanması üçün yeni metodika işlənmişdir və hesab nümunələri verilmişdir, qarşılıqlı impedansın təyin olunmasında yerdə axan uzununa tutum cərəyanlarının nəzərə alınması lüzumu qiymətləndirilmiş və bunun şərtləri təyin edilmişdir.

Təyin olunmuşdur ki, ikinci dövrlərə təhlükəli təsirlər baxımından birinci dövrlərdə baş verə biləcək uğursuz avtomatik təkrar quşulmalarla (ATQ) müşayiət olunan qısa qapanmaların (ildırım və daxili mənsəli) açılması prosesidir. Bu hallarda təhlükəli təsir həm induksiya edilmiş e.h.q.-lərin qiyməti, həm də sıçrayışların sayında özünü biruzə verir. Bu səbəbdən, adı çəkilən kommutasiya təhlükəli təsirlər baxımından hesabi kommutasiya qəbul edilməlidir. Bu hallar aşağıdakı şəkillərdə göstərilmişdir.

Birinci dövrlərdə baş verən keçid prosesləri nəticəsində ikinci dövrlərdə əmələ gələn təsir enerjisinin onun ünsürləri arasında paylanması təyin etmək üçün metodika işlənmişdir.

Metodikadan istifadə etmək üçün aşağıdakılar məlum olmalıdır:

- ikinci dövrə elementlərinin məxsusi parametrləri;
- $\dot{E}_2 = \dot{I}_1 Z_{12} K$ ifadəsi vasitəsilə ($\dot{E}_2$ - induksiya olunan kompleks uzununa e.h.q., $\dot{I}_1$ - birinci dövrə cərəyanının kompleks amplitudu; Z_{12} – qarşılıqlı impedans, K – torpaqlama əmsalı) və ya başqa bir üsulla təyin olunan induksiya edilmiş e.h.q.;
- məlum metodlarla təyin olunmuş orta təsir gücü.

Bəzi hallarda ikinci dövrə qovşağında birləşmələrin həndəsi parametrləri və veriliş parametrlərinin qiymətlərinə də ehtiyac ola bilər.

1 və 2 şəkillərinə əsasən birinci dövrənin ikinci dövrəyə təsir müddəti

$$t = \tau n + (n-1)t_{ATQ}$$

kimi təyin olunur (τ bir impulsun sürəkliliyi, n impulsların dəfəliliyi- dir).

İkinci dövrənin i -ci elementində ayrılan aktiv enerji

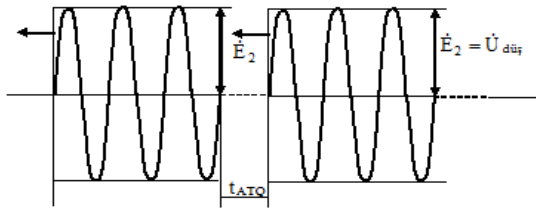
$$W_{id} = \operatorname{Re}(Z Z_i^{-1} \dot{S}) \cdot t$$

kimi təyin olunur. Burada Z dövrənin, Z_i isə i -ci ünsürün impedansıdır (qeyd edək ki, impedanslar şəklində müvafiq Üİ-lar çıxış etməlidir), $\dot{S}$ təsir gücü, t isə birinci dövrənin ikinci dövrəyə təsir müddətidir.

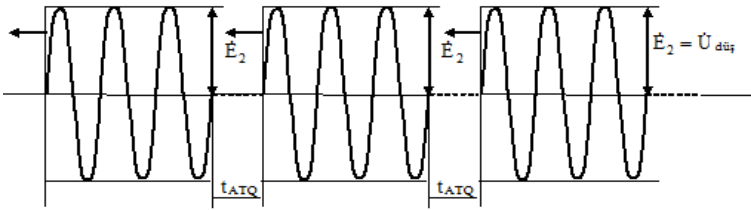
Sonuncu ifadə

$$W_{id} = (m+1)\tau \cdot \operatorname{Re}(Z Z_i^{-1} \dot{S})$$

kimi də yazıla bilər.

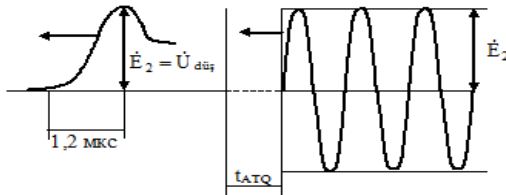


a)

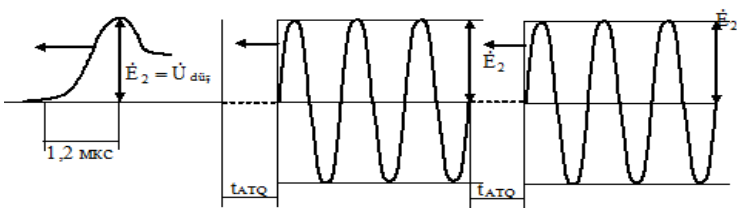


b)

Şək. 1. Birdəfəli (a) və ikidəfəli (b) uğursuz ATQ hallarında hesabi kommutasiya mənsəli təsirlər



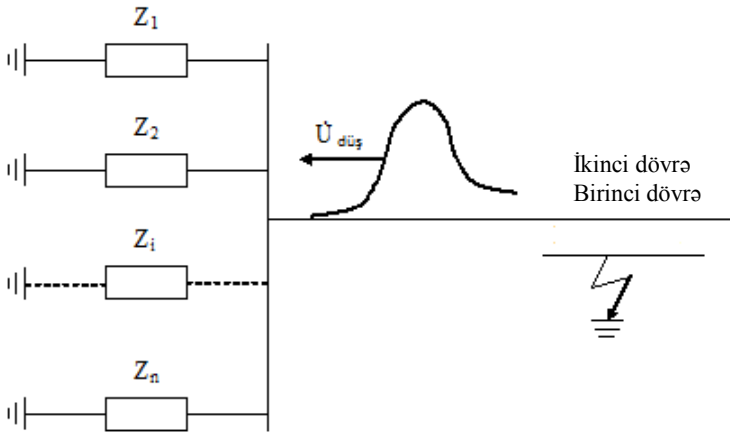
a)



b)

Şək. 2. Birdəfəli (a) və ikidəfəli (b) uğursuz ATQ hallarında hesabi ildırım mənsəli təsirlər

İkinci dövrə qovşağının hesabat sxemi şək.3-də verilmişdir.



Şəkil 3. İkinci dövrə qovşağının hesabat sxemi

Növbəti mərhələdə ayrılan enerjinin qiyməti hər bir ünsür üçün tərtib dəqiqliyi ilə məlum olan pozucu W_i^{poz} və W_i^{dag} dağıdıcı enerji ilə müqayisə olunur. Belə ki,

$$W_{id} < W_i^{poz}$$

olduqda baxılan ünsürə təsir edən enerji onun fəaliyyətini pozmur.

$$W_i^{poz} < W_{id} < W_i^{dag}$$

halında təsir nəticəsində ikinci dövrə elementi dağılmır, ancaq onun işi əhəmiyyətli dərəcədə pozulur,

$$W_{id} > W_i^{dag}$$

olduqda isə element tam yararsız hala düşür.

Nəhayət, dördüncü fəsildə daha bir məsələyə qarşılıqlı impedansın təyin olunmasına baxılmışdır.

Məlum olduğu kimi, ikinci dövrdə induksiya olunan gərginlik (uzununa e.h.q.) birinci və ikinci dövrə arasındakı qarşılıqlı impedansdan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Bu səbəbdən, qarşılıqlı impedansın mümkün qədər dəqiq təyin olunması vacibdir.

Dissertyasiyada dövrlərarası qarşılıqlı həndəsi induktivliklə

toplanaraq qarşılıqlı impedans kəmiyyətini əmələ gətirən yer tərəfindən gətirilən impedansın hesabi xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Yerin gətirdiyi impedans Karson inteqralı vasitəsilə

$$Z = j \frac{\omega \mu}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\exp[-(h_m + h_n)\lambda] \cos a \lambda d\lambda}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 + j\omega\mu\gamma}}$$

təyin olunur. Yerdə uzununa tutum cərəyanları nəzərə alındıqda yuxarıdakı inteqralın Uayze modifikasiyası, yəni

$$Z = j \frac{\omega \mu}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\exp[-(h_m + h_n)\lambda] \cos a \lambda d\lambda}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 + j[\omega\mu\gamma + j\omega^2\mu(\varepsilon - \varepsilon_0)]}}$$

inteqralı. Bu inteqrallarda μ - yerin maqnit nüfuzluluğu; h_m , h_n və a naqillərin (dövrələrin) həndəsi parametrləri; γ - yerin elektrik keçiriciliyi; ε - yerin dielektrik nüfuzluluğu; ε_0 – elektrik sabiti; λ - inteqrallama dəyişənidir.

Dissertasiyada yerin dielektriki xassələrinin, yəni uzununa tutum cərəyanlarının nəzərə alınması məqsədəuyğunluğu tədqiq edilmişdir. Bu onunla bağlıdır ki, enerji sistemlərində elektromaqnit uyğunluğu məsələlərində tezliyin yuxarı həddi bir neçə meqahers olur, yəni kifayət qədər böyük kəmiyyət təşkil edir.

Dissertasiyada aparılan tədqiqatlar göstərir ki, elektromaqnit uyğunluğu məsələlərində yerdə axan uzununa tutum cərəyanları bərk suxurlar və dəniz akvatoriyası üzərindən keçən xətlər üçün nəzərə alınmaya bilər. Yalnız şirin su hövzələri üzərindən keçən xətlər üçün tezlik 1 MHz-dən yüksək olduğu halda, torpağın dielektriki xüsusiyyətlərini nəzərə almağa lüzum yaranır.

DİSSERTASIYADA ALINAN ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Qeyri – sinusoidal təsirlərə məruz qalan elektrik dövrələri üçün ümumiləşdirilmiş impedans məfhumu və nəzəriyyəsi inkişaf etdirilmişdir. Dövri (periodik) qeyri – sinusoidal təsirlər üçün dövrənin ümumiləşdirilmiş impedansı və nisbi ümumiləşdirilmiş impedansı üçün ümumi riyazi ifadələr təklif edilmişdir. Bəzi bipolyar və unipolyar dövri – sinusoidal təsiri halları üçün aktiv – induktiv və ak-

tiv – tutum ikiqütblülərinin mütləq və nisbi ümumiləşdirilmiş impedansları hesablanmışdır.

Ümumiləşdirilmiş impedans məfhumu və nəzəriyyəsi qeyri – dövrü (aperiodik) qeyri– sinusoidal təsirləri halı üçün inkişaf etdirilmişdir və həmin kəmiyyəti təyin edən ümumi düstur təklif edilmişdir. Aktiv–induktiv və aktiv–tutum ikiqütblülərinin girişinə ixtiyari sürəkliliyə malik olan düzbucaqlı impulsun düşməsi halı üçün ümumiləşdirilmiş impedansın ifadələri alınmışdır. Düzbucaqlı impuls halının öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyətə malikdir, çünki bu növ impuls birinci dövrlərə əsas təhlükə mənbəyi olan və ikinci dövrlərdə elektromaqnit uyğunluğu baxımından əsas təhlükəli təsir kimi qəbul edilən ildırım impulsunu modelləşdirir.

Texnosferanın ikinci dövrlərində istifadə olunan tezlikdən asılı rezistorların ümumiləşdirilmiş impedansları tədqiq edilmiş, onların tezlik xarakteristikaları və keyfiyyət əmsalının analizi nəticəsində örtüklü rezistorların eyni ölçülü örtüksüz rezistorlarla müqaisədə daha effektiv olduğu göstərilmişdir. Bu örtüklü rezistorda ayrılan enerjinin bir hissəsinin ferromaqnit örtükdə konservləşdirilməsi ilə əlaqələndirilmişdir.

Bəzi standart periodik təsirlər halları üçün ümumiləşdirilmiş impedanslar və nisbi ümumiləşdirilmiş impedansların cədvəlləri işlənmişdir (aktiv–induktiv və aktiv–tutum ikiqütblüləri üçün).

Texnosferanın birinci (güc) dövrlərində baş verən qəza və kommutasiya prosesləri nəticəsində ikinci dövrlərdə induksiya edilən uzununa e.h.q.-lərin hesablanması üçün hesabi kommutasiya təsirləri təklif edilmiş, ikinci dövrə və onun ünsürlərində ayrılan (dissipasiya olunan) təsir enerjisinin hesabı üçün yeni metodika işlənmişdir. İşlənmiş metodika pozucu və dağıdıcı enerjisi məfhumları, ifadələri və məlum işlənmiş cədvəllər vasitəsilə birinci dövrlərdə qəza və kommutasiyalarla əlaqədar ikinci dövrlərin etibarlılığı və onun dərəcəsinə qiymətləndirməyə imkan verir.

Bu metodikada ilk dəfə olaraq elektrik enerji sistemində baş verəbiləcək kommutasiya proseslərinin texnoloji xüsusiyyətləri (avtomatik təkrar qoşulmalar, onların dəfəliliyi, qoşulmaların uğurlu və ya uğursuz olması) elektromaqnit uyğunluğu baxımından nəzərə alınmışdır.

Uayze formasında Karson inteqralının MATLAB proqram paketi vasitəsilə hesablanmasının xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Yerin dielektriki nüfuzluluğunu nəzərə almaqdan doğan bu inteqralın

hesabındakı çətinliklər araşdırılmışdır. Bu inteqralın hesabı əsasında Abşeron yarımadasına xas olan suxurlar, dəniz akvatoriyası və şirin su hövzələri üzərindən keçən hava elektrik xətlərinin qarşılıqlı impedansının hesabında yerin dielektriki xassələrinin nəzərə alınmasının məqsəduyğunluğu qiymətləndirilmişdir. Təyin olunmuşdur ki, bərk suxurlar və dəniz akvatoriyası üzərindən keçən xətlər üçün baxılan məsələlərə xas olan bütün tezlik diapazonunda, şirin su akvatoriyası üzərindən keçən xətlər üçün isə tezlik 900 kHz-dən kiçik olduqunda klassik formadakı Karson inteqralından istifadə oluna bilər.

Dissertasiyanın məzmunu aşağıdakı nəşrlərdə əksini tapmışdır.

1. Qəhrəmanova S.H. Kondensatorların və sarğıların keçid rejimlərdə reaktiv müqaviməti haqqında. 43-cü tələbə elmi-texniki konfransının məruzələrinin tezisləri. Bakı - 2000. (səh.8)
2. Т.М.Лазимов, С.Г.Гаграманова. Обобщенные импедансы RL – двухполюсников при выпрямленном напряжении. Материалы докладов 47-й юбилейной учебно – методической и научно-технической конференции, часть II, Баку 2000 (стр. 206-208)
3. Лазимов Т.М., Гаграманова С.Г. Расчет диссипации энергии воздействия во вторичных цепях техносферы // Проблемы энергетики, Баку, Элм, №1, 2001, səh. 29-35
4. Лазимов Т.М., Гаграманова С.Г. Обобщенный импеданс электрической цепи при немонохромных воздействиях // Известия АН АР. Серия физ.-тех. и мат. наук, том XXII, №3, 2001, (səh. 159-162)
5. Т.Лазимов, С.Гаграманова. Обобщенные импедансы электрических цепей при периодических прямоугольных воздействиях. «Техника» журналі, №1, Bakı 2001 (səh. 47-49)
6. С.А.Ахундов, С.Г.Гаграманова, Т.М.Лазимов. Коммутации конденсаторных батарей и электромагнитная совместимость в техносфере. Электротехника и Электромеханика, №1, Украина 2002, стр.5-7
7. Qəhrəmanova S.H. Qeyri – sinusoidal təsirlər halı üçün ikiqütblülərin ümumiləşdirilmiş impedanslarının cədvəlləri. AzTU-nun aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi-texniki konfransı, məruzə materialları, Bakı – 2002. (səh. 5-9)
8. Lazimov T.M., Gahramanova S.H. Incidence of a rectangular impulse on RC circuit // AzTU, Elmi əsərlər, №2, Bakı, 2005, səh. 53-55
9. Lazimov T.M., Qəhrəmanova S.H. Texnosfera, elektromaqnit uyğun-

- luğu və elektromaqnit mühiti anlayışları haqqında. AzTU Elmi Əsərləri, №1, 2008
10. Lazimov T.M., Qəhrəmanova S.H. Qeyri-sinusoidallığın növləri və bəzi xüsusiyyətləri haqqında. Respublika elmi–praktiki konfransının mat., Bakı 2008
 11. Lazimov T.M., Qəhrəmanova S.H. Enerji keyfiyyəti anlayışının inkişafı haqqında. Respublika elmi-praktiki konfransının mat., Bakı 2008
 12. Lazimov T.M., Qəhrəmanova S.H. Elektromaqnit uyğunluğu sahəsində terminologiya və təsnifata aid olan bəzi məsələlər. AzTU Elmi Əsərləri, №2, 2010
 13. Lazimov T.M., Qəhrəmanova S.H., Saafan E. Transitional reactances of capacitor at switching processes. IEEE+Control, vol.2, №1, Baku 2011
 14. Гагранаова С., Э.А.Саафан, С.Иманов, Т.Лазимов. О необходимости учета диэлектрических свойств земли при определении взаимного импеданса двухпроводной системы. AzTU, Elmi əsərlər №2, Bakı 2012, c. 11-15
 15. T.M.Lazimov, S.H.Qəhrəmanova. Tezlikdən asılı rezistorların ümumiləşdirilmiş impedansının hesabı. “Heydər Əliyev və Azərbaycan Təhsili” Respublika Elmi konfransının materialları, 7-8 may, Bakı 2013
 16. Tahir Lazimov, Ahmet Nayir, Samira Qahramanova, Tahir Cetin Akinci. Extension of electrical impedance concept for non-sinusoidal influences. International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2013. Faculty of Technics and Technologies, Trakia University, October 30-31, Yambol, Bulgaria, 2013, s. 306-312

Müştərək nəşrlərdə müəllifin şəxsi payı aşağıdakılardan ibarətdir:

- [2],[5],[13] və [16] – da ifadələrin alınmasında iştirak və hesablamaların aparılması;
- [3] – də metodikanın işlənməsi;
- [4] – də ifadələrin alınması;
- [6] – da məqalənin ümumi mülahizələri və nəticələrinin işlənməsi;
- [8] – də çevirmələrin aparılması;
- [9],[12] – də mülahizələrin işlənməsi və formalaşdırılmasında iştirak;
- [10] – da mülahizələrin formalaşdırılmasında iştirak;
- [11] – də mülahizələrin işlənməsi;
- [14] – də kompüter simulyasiyasının aparılması;
- [15] – tədqiqatın aparılması.

ГАГРАМАНОВА САМИРА ГАСАН кызы

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ВО ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЯХ ТЕХНОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ**

РЕЗЮМЕ

Диссертация посвящена развитию теоретической и вычислительной базы процессов, обусловленных цепей техносферы на вторичные.

В диссертации получены следующие основные результаты: проведено уточнение классификации и терминологии с электромагнитных воздействий с точки зрения электромагнитной совместимости в техносфере; получены новые формулы для расчета обобщенного импеданса электрических цепей для периодических и аperiodических воздействий; оценены характеристики частотнозависимых резисторов, используемых во вторичных цепях техносферы; разработаны таблицы относительных обобщенных импедансов для различных форм воздействующего напряжения; развиты теоретические положения расчета диссипации во вторичных цепях техносферы, в частности, разработаны методы для ее расчета; исследован вопрос о необходимости учета продольных токов смещения в земле в задачах электромагнитной совместимости.

Результаты, полученные в диссертации, позволяют оценивать электромагнитную совместимость между первичными и вторичными цепями техносферы по величинам как наведенных напряжений, так и энергии, диссипируемой во вторичных цепях и их элементах.

GAHRAMANOVA SAMIRA HASAN

**RESEARCH OF INTERFERENCE ENERGY IN
TECHNO-SPHERE'S SECONDARY CIRCUITS AT
ELECTROMAGNETIC INFLUENCE CONDITIONS**

SUMMARY

The thesis is devoted to developing the theoretical and computational principles of processes conditioned by electromagnetic influence of technosphere primary circuits to the secondary ones.

There were obtained the following results in the thesis: some classifications and terms were corrected from the point of view the electromagnetic compatibility of power systems; the generalized impedance conception were developed and some new formulae were got for the cases of periodical and aperiodical influences; influence of frequency – dependent resistors used in the secondary circuits were researched; tables of related calculated generalized impedances for the different types of periodical influences were worked; the methodical base for calculation the dissipated energy in technosphere's secondary circuits were developed, in particular some new methods for calculation this energy were worked up; necessity of taking into account longitudinal displacement currents of ground return in the problems concerned to power systems' electromagnetic compatibility was researched.

The results got in the thesis permit to evaluate electromagnetic compatibility between primary and secondary circuits both by induced voltage magnitude and energy dissipated in the secondary circuits and their elements.

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

САМИРА ГАСАН кызы ГАГРАМАНОВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВО
ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЯХ ТЕХНОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ**

3341.01 - Электрические станции (электрическая часть)
и электроэнергетические системы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

БАКУ – 2015