

İfrat yüksəkgərginlikli hava xətlərində kompensasiya olunmuş tac hadisəsi cərəyanının modelləşdirilməsi

İnformatika və avtomatika

İsayeva T.M.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

E-mail: taranaisaeva@rambler.ru

Yüksəkgərginlikli dəyişən cərəyan elektrik veriliş xəttində tac hadisəsindən yaranan güc itkiləri xarakteristikasının MATLAB-Simulink proqram mühitində modelləşdirilməsi məsələsi ardaşdırılmışdır. Tac hadisəsinin ekvivalent parametrlərinin qiymətləndirilməsi məqsədilə, tac cərəyanının harmonikaların mürəkkəbələri təhlil olunmuşdur. Model vasitəsilə alınmış nəticələrin məlum ədədi hesablamə və eksperimental verilənlərlə müqayisəsi aparılmışdır.

Açar sözlər: dəyişən cərəyan hava xətti, tac hadisəsi, tac modeli, hava xəttində tutumun artımı, harmonikaların spektri.

Giriş

Hava xətlərində (HX) tac hadisəsi ilə əlaqədar yaranan ali harmonikaları ilə əlaqədar məsələlər az tədqiq olunmuşdur. Tac cərəyanının harmonik tərkibinin təyin olunması tac hadisəsi nəzərə alınmaqla uzun xətlərdə ifrat gərginliklərin hesablanması, ifrat yüksək gərginlikli (YG) elektrik veriliş xətlərinin (EVX) rejimlərinin ali harmonikaların analizində, İYG HX-nin tac hadisəsindən yaranan güc itkilərinin harmonikaların analizi əsasında ölçülməsində və elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin monitorinqində faydalı ola bilər.

Məsələnin qoyuluşu

Tac hadisəsi cərəyanının harmonik tərkibinin sənaye tezliyinin mislinə uyğun tezliklərdə analizi üçün [1-6] işlərində alınmış nəzəri və təcrübi nəticələrdən istifadə olunmuşdur.

Hazırda İYG HX-nin dəyişən cərəyanda tac hadisəsinin yaranması ilə əlaqədar hasil etdiyi ali harmonikalar və onların elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinə təsiri xüsusi maraq kəsb edir.

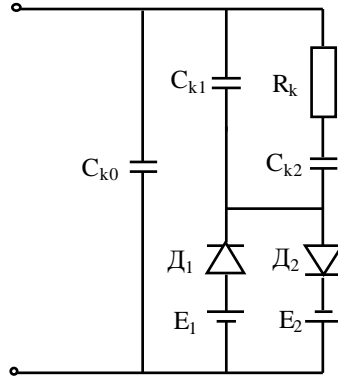
Eləcə də məlumdur ki, tac zamanı məftillərin yaxınlığında havanın yüklü hissəciklərlə doyması sayəsində HX-nin faza tutumları artır ki [1-5], bu da elektrik veriliş xətləri tərəfindən böyük reaktiv gücün hasil edilməsinə səbəb olur.

Adətən, tacın reaktivlik effektinin modeli xəttin hündəsi tutumuna əlavə element şəklində yerinə yetirilir. Buna görə də hesabi qiyməti tac yaranan xəttin cərəyanı ilə onun hündəsi tutumundakı cərəyan arasında fərqə bərabər olan “kompensasiya olunmuş” tac cərəyanı terminindən istifadə edilir.

İstismar prosesində məftillərində tac boşalması yaranan 220kV və daha yüksək gərginlikli xətlər tac cərəyanı qeyri-sinusoidal olduğu üçün ali harmonik cərəyan mənbəyidir [1-4]. [1-5]-də qeyd olunmuşdur ki, tac cərəyanının spektrində əsas tezlikdən başqa, cərəyanın birinci harmonik aktiv mürəkkəbəsinin 30%-ni təşkil edən üçüncü, eləcə də beşinci və yeddinci harmonikaların cərəyanı vardır.

Hesablama və modelləşdirmə zamanı tac modelinin adətən ayrıca element kimi təqdim olunması məqsəduyğun olur. Bu zaman tac boşalması yaradan sistem kompensasiya olunmuş tac cərəyanı şəklində təsvir olunur.

Tac hadisəsinin modeli. HX məfəillərində tac boşalması nəticəsində yaranan cərəyanın harmonikalarını tədqiq etmək üçün tac xarakteristikasının modelləşdirilməsi tac hadisəsinin O.V. Şerbaçov və Q.N. Aleksandrov tərəfindən təklif edilmiş [5] fiziki modelinin təhlili əsasında qurulmuş elektrik sxemi üzrə yerinə yetirilmişdir.



Şəkil 1. Tac modelinin elektrik sxemi

Modelin sxemində C_{k0} – xəttin həndəsi tutumu; E_1, E_2 – tacın başlanğıc gərginliyinə bərabər olan dayaq gərginlikləridir. Xəttin başlanğıc gərginliyini aşan gərginlikdə C_{k1}, C_{k2}, R , sxemi qoşulur. C_{k1} – tac boşalmalı xəttin sahəsində həcmi yükün yaranmasını imitasiya edən tutum; $R-C_{k2}$ – elementi həcmi yükün tac boşalmalı xəttin sahəsinə enerji itkiləri ilə müşayiət olunmaqla hərəkət etməsini imitasiya edir. $R-C_{k2}$ – elementi tac boşalmalı xətdəki real prosesə uyğun olaraq tacın modelindən cərəyanın keçməsinə və yük maksimumunu keçdikdən (diod bağlandıqdan) sonra müəyyən vaxt ərzində enerjinin ayrılmasını (səpələnməsini) təmin edir. Tac modelinin real prosesə uyğunluğu C_{k2}/C_{k1} nisbətinin və modelin zaman sabitinin seçilməsi ilə əldə olunur:

$$T = \frac{C_{k1} \cdot C_{k2} \cdot R}{C_{k1} + C_{k2}} \quad (1)$$

Modelin tələb olunan dinamik xarakteristikalarını təmin edən parametrlərinin seçilməsi metodikası Leninqrad Politexnik İnstitutunun YGT laboratoriyasında işlənmiş və [5]-də təsvir edilmişdir. Həmin işdə təcrübi olaraq sübut edilmişdir ki, modelin və tac boşalmalı xəttin dinamik (volt-ampere və ya volt-kulon) xarakteristikalarının uyğun olması tələbi itkilərin tacın başlanğıc gərginliyinə nisbətən ifrat gərginliyin mislindən və modelə tətbiq edilmiş gərginliyin tezliyindən asılılığı ilə real xəttin asılılığının uyğunluğu tələbi ilə eynidir. Modelin $P = f(U/U_H)$ və $P = \Phi(f)$ asılılıqları C_{k2}/C_{k1} parametrlərinin nisbətinin və T -nin dəyişdirilməsi ilə seçilir. Modelin parametrlərinin mütləq qiymətləri real boşalmalı xətdə və modeldə itkilərin tacın başlanğıc gərginliyinə nisbətən ifrat gərginliyin mislindən asılılıqlarının verilmiş modelləşdirmə miqyasına uyğun olaraq müqayisə edilməsi yolu ilə seçilir.

Həll üsulları

Dəyişən cərəyan EVX-də tac hadisəsi effektlərinin təsvir edilməsi metodları. Birinci metod tacın volt-kulon xarakteristikasının təsvir edilməsinə (modeldə və ya kompüterdə) əsaslanır [1-5]. Sadələşdirilmiş hesablamalar üçün bu metod praktiki olaraq yaramır.

Kompensasiyalı tac cərəyanının fiziki modeldə modelləşdirilməsi tac cərəyanının ossilloqramlarının və tac cərəyanı harmonikalarının spektrinin çıxarılması və nəticələrin emalına əsaslanır.

Bu məqalədə kompensasiya olunmuş tac cərəyanının Matlab-Simulink mühitində modelləşdirilməsi və bu modelin gələcəkdə İYG HX-nin parametrlərinin təyin olunması və elektrik enerjisinin keyfiyyətinə təsirinin analizi imkanları araşdırılır.

Tac boşalmalı xəttin əvəzetmə sxemi L və C -dən başqa, əlavə qeyri-xətti elementlərdən – qiymətləri tac boşalması ilə əlaqədar aktiv güc itkilərin xarakteristikası $P_k = f_1(U)$ və tac cərəyanının birinci harmonikasının gərginliyə nəzərən sürüşməsi bucağı $\varphi_1 = f_2(U)$ məlum olduqda təyin oluna bilən g aktiv keçiriciliyindən və ΔC tutumundan ibarətdir.

$$g = \frac{P_k}{U^2} \quad \text{və} \quad \omega \cdot \Delta C = g \cdot \operatorname{tg} \Psi_1 \quad (2)$$

Tac hadisəsi ilə əlaqədar əlavə tutum tac hadisəsində aktiv güc itkilərinin məlum xarakteristikalarına və tac cərəyanının birinci harmonikasının gərginliyə nəzərən sürüşməsinə görə təyin olunur

$$\Delta C = \frac{\Delta P_k}{\omega \cdot U^2} \cdot \operatorname{tg} \Psi_1, \quad (3)$$

burada ΔP_k – xətdə tac boşalması ilə əlaqədar güc itkiləri; ω – bucaq sürəti; U – EVX-nin xətti gərginliyi; Ψ_1 – tac cərəyanının birinci harmonikasının gərginliyə nəzərən faza sürüşməsi bucağıdır.

EVX hər bir fazasında tac boşalması ilə əlaqədar aktiv güc itkilərinin təcrübi yolla alınmış ümumiləşdirilmiş asılılığı [6] ifadəsi ilə approksimasiya edilmişdir

$$\Delta P_k = \frac{1.05 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C^2 U_0^2}{n \varepsilon_0} \cdot [1 + (n-1) \cdot 0.14] \cdot \sqrt{\frac{U}{U_0}} \cdot \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right), \quad (4)$$

burada C – fazanın tutumu, F/km; ε_0 – havanın dielektrik nüfuzluğu, $8,86 \cdot 10^{-9}$ F/km; U və U_0 – uyğun olaraq xətdə tacın işçi və başlanğıc gərginlikləri; f – şəbəkə tezliyi; n – fazada məftillərin sayıdır.

Təklif olunan metodun səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün modeldə generasiyalar üzrə eksperimentlər aparılmış, alınmış model verilənlərinin emalı və təhlili yerinə yetirilmişdir. Faza konstruksiyası 3·AC330/43 olan 500 kV-luq HX üçün kompensasiya olunmuş tac cərəyanının parçalanma addımı 40 sm, parametrləri $r_0 = 0.029$ Om/km, $x_0 = 0.299$ Om/km, $c_0 = 11.9 \cdot 10^{-9}$ F/km, $b_0 = 3.74 \cdot 10^{-6}$ Sm/km olan modeli şəkil 2-də göstərilmişdir.

İYG HX modeli üçün ekvivalent parametrləri başlanğıc modelə identik qəbul edilmişdir. Bu zaman $C_{k1} = 6.5 \cdot 10^{-9}$ F, $C_{k2} = 13 \cdot 10^{-9}$ F. Modelin aktiv müqaviməti (1) ifadəsindən $T = 0.00166$ san. qəbul edilərək təyin edilmişdir: $R_m = 383080$ Om, $U_{n0} = U_{fmax} = 408.248$ kV, $U_{rem}/U_{fm} = 1.1$.

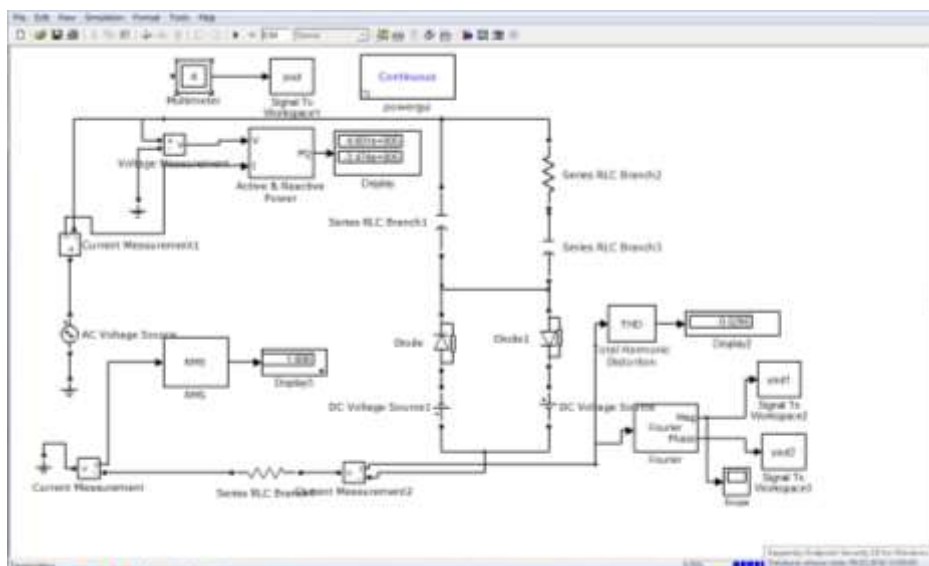
Modelin parametrlərinin qiymətləri real EVX və modeldə gərginliyin tac hadisəsinin başlanğıc gərginliyinə nisbətinin misindən asılı itkilərin müqayisə edilməsi yolu ilə seçilmişdir.

MATLAB modelinin ekvivalent parametrlərinin seçilməsi. Verilmiş model üçün başlanğıc hesablamalar $U/U_0 = 2$, $C_{k2} = C_f = 12 \cdot 10^{-9}$ F verilməklə və $C_{k2}/C_{k1} = 2$, $C_{k1} = C_{k2}/2 = 12/2 = 6 \cdot 10^{-9}$ F şərtindən yerinə yetirilmişdir. (1) düsturundan $R = 415000$ Om. MATLAB-da modelləşdirmə nəticələri cədvəl 1-in birinci sətrində verilmişdir.

Cədvəl 1. Tac cərəyanının şəkil 1-dəki MATLAB modelində modelləşdirmə nəticələri
 $U_{rem}/U_{fm} = 2$ olduqda modelin parametrlərinin seçilməsi

Nö	C_{k1} , 10^{-9} F	C_{k2} , 10^{-9} F	R_m , Om	I_{max} , A	P_{mod} , kVt	Q_{mod} , kVAr
1	6	12	415000	1.8	425	325
2	6.5	13	383080	2.0	460	347
3	7	14	375480	2.1	490	350

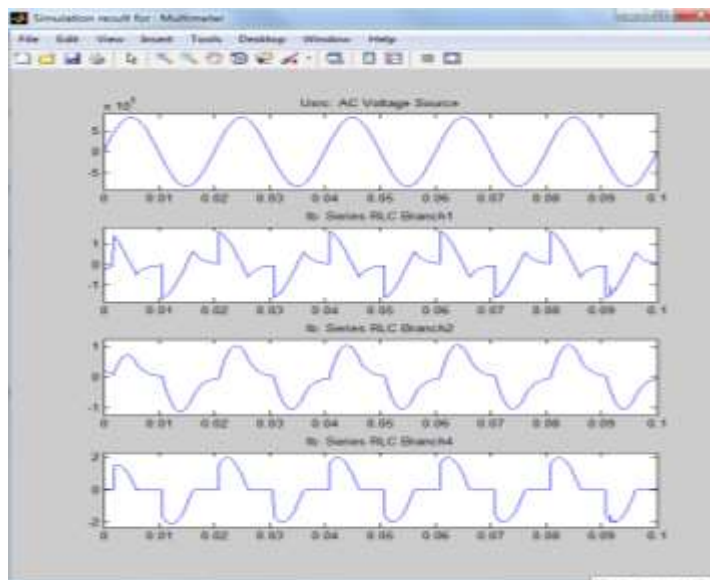
425 kVt tac itkiləri ümumiləşdirilmiş xarakteristikadan (4) alınmış tac itkilərilə – 460 kVt müqayisə edilərək, hesablamalar $C_{k2} = C_f = 13 \cdot 10^{-9}$ F qəbul edilməklə, $C_{k2}/C_{k1} = 2$, $C_{k1} = C_{k2}/2 = 12/2 = 6 \cdot 10^{-9}$ F şərtinə əsasən təkrarlanmışdır. (1) düsturundan $R = 383080$ Om.



Şəkil 2. Tac hadisəsinin kompensasiya olunmuş cərəyanının MATLAB-da modeli

Beləliklə, parametrlərin 2-ci sətirdəki qiymətləri əsas götürülmüşdür.

Tac hadisəsinin MATLAB-da modelləşdirmə nəticələri. Tacın MATLAB-Simulinkdə modelləşdirmə nəticələri şəkil 3-də təqdim olunmuşdur. Şəkil 3-ün 1-ci sətiri dəyişən cərəyan mənbəyinin $500 \cdot \sqrt{2} / \sqrt{3}$ kV gərginliyidir, ikinci sətir C_{K1} dövrəsində cərəyan, üçüncü sətir $R-C_{K1}$ dövrəsində cərəyan, dördüncü sətir tac modelində ümumi cərəyandır.



Şəkil 3. Tac cərəyanının MATLAB-da modelləşdirmə nəticələri

Tac cərəyanının ifrat gərginliyin U_{rem}/U_{fm} misindən asılı olaraq şəkil 2-dəki MATLAB modelində modelləşdirmə nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2. Tac hadisəsinin kompensasiya olunmuş cərəyanının MATLAB-da modelləşdirmə nəticələri

№	U_{rem}/U_{fm}	U_{im} , kV	P_{mod-f} , kVt	Q_{mod-f} , kVAr
1	1.05	428.6607	8.202	1.773
2	1.1	449.0731	21.33	6.136
3	1.2	489.8980	51.07	19.83
4	1.3	530.7228	86.87	40.17
5	1.4	571.5476	127.8	66.78
6	2	816.4966	459.70	347.3

Tac cərəyanının başlanğıc gərginliyini təyin etmək üçün ifrat gərginliyin mislindən təcürbi yolla alınmış ümumi asılılıq xarakteristikalarına görə tac hadisəsinin güc itkiləri xarakteristikası (3) istifadə olunur.

Tac cərəyanının harmonikalarının amplitudlarının ifrat gərginliyin misli ikiyə bərabər olduqda dəyişən cərəyanın periodundan asılı olaraq modelləşdirmə nəticələri şəkil 4-də göstərilmişdir. Tacın kompensasiya olunmuş cərəyanının harmonikalarının ifrat gərginliyin mislindən U_{rem}/U_{fm} asılı olaraq amplitudları və faz sürüşmə bucaqları cədvəl 3-də təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3. Tac hadisəsinin kompensasiya olunmuş cərəyanının harmonikalarının ifrat gərginliyin mislindən U_{rem}/U_{fm} asılı olaraq amplitudları və faz sürüşmə bucaqları

Harmonikanın nömrəsi	Tacın kompensasiya olunmuş cərəyanının harmonikalarının ifrat gərginliyin mislindən U_{rem}/U_{fm} asılı olaraq amplitudları və faz sürüşmə bucaqları							
	1.05		2		1.4		2	
	U_i	Ψ_i	U_i	Ψ_i	U_i	Ψ_i	U_i	Ψ_i
1	0.05	11.6	0.23	19.9	0.52	28.5	1.42	37.2
3	0.05	214.5	0.18	241.8	0.36	267.8	0.66	-61.8
5	0.04	58.1	0.11	112.4	0.15	161.9	0.16	-70.6
7	0.04	262.7	0.07	2.9	0.07	120.3	0.18	244.4
9	0.03	109.1	0.05	261.9	0.08	42	0.11	236
11	0.02	-41.4	0.03	156.3	0.05	-36.3	0.1	190.2
13	0.02	173.4	0.03	76.4	0.05	-89.9	0.08	178.9
15	0.01	36.2	0.04	-28.5	0.04	188.4	0.07	136



Şəkil 4. Tacın kompensasiya olunmuş cərəyanının 1-7-ci harmonikalarının amplitudlarının dəyişmə əyriyələri

Cədvəl 3-ün tacın kompensasiya olunmuş cərəyanının müvafiq harmonikalarının nisbi amplitudları və faza sürüşmə bucaqları ilə müqayisəsi V.İ. Levitovun və V.İ. Popkovun [1, 4, 5] eksperimental verilənləri ilə üst-üstə düşdüyünü göstərir.

Tutumun artımını tacın MATLAB modelinin nəticələrini (cədvəl 2 və 3), (3) ifadəsini istifadəsindən edərək təyin etmək olar.

Nəticə

1. İYG HX-də tacın kompensasiya olunmuş cərəyanının Matlab Simulink proqramlaşdırma mühitində modeli qurulmuş və dəyişən cərəyan HX-də tac hadisəsi modelinin ekvivalent parametrlərinin qiymətləndirilməsi metodikası təklif edilmişdir, metodika daha yaxşı nəticələri almağa imkan verir.

2. Tac hadisəsinin cərəyanının kompensasiya olunmuş Matlab modeli İYG HX-nin model-

lərinin yaradılmasında və elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinə təsirinin təhlilində istifadə oluna bilər, yeni imkanlar və texniki həllər açaraq, elektroenergetika sistemlərinin inkişafı və təkmilləşdirilməsinə yardım edir.

3. İYG HX-nin dəyişən cərəyan tac hadisəsinin modeli tac itkiləri və HX-nin əlavə tutumunu təyin etməyə, tac cərəyanını, harmonikaların parametrlərini, cərəyanın harmonikalarının amplitudası və faza sürüşmə bucaqlarının ifrat gərginliyin misindən asılı olaraq gərginlik əyrisinə nəzərən təhlil etməyə imkan verir.

Ədəbiyyat

1. Коронный разряд в линии сверхвысокого напряжения. // Избранные труды В.И. Попков. – М.: Наука, 1990. – 256 с.
2. Кравченко Е.В., Попков В.И., Тамазов А.И. Корона переменного тока на одиночном проводе. // Корона на проводах. – М.: ЭНИНа, 1977. – Вып. 62. – С.5-57.
3. Богданова Н.Б., Рябая С.И. Некоторые особенности развития короны переменного тока. // Корона на проводах. – М.: ЭНИНа, 1977. – Вып. 62. – С.56-77.
4. Левитов В.И. Корона переменного тока. Вопросы теории, методов исследования и практических характеристик. – М.: Энергия, 1975. – 250 с.
5. Александров Г.Н. Коронный разряд на линиях электропередач. – М.: Энергия, 1964.
6. Емельянов Н.П., Семенов А.С. Характеристики общей короны для использования в расчетах квазистационарных перенапряжений в линиях электропередачи. // Электричество. – 1984, №11. – С.11-16.
7. Баламетов А.Б. Коронирование проводов ВЛ СВН. Моделирование в установившихся режимах. / Монография. LAP Lambert Academic Publishing. – 2013. – 310 с.
8. Баламетов А.Б. Учет дополнительной емкости ВЛ СВН, вызванной короной, при расчетах установившихся режимов электрических сетей. // Электрические станции. – 1988, №10. – С.65-69.
9. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. // Специальный справочник.

Резюме

Исаева Т.М.

Моделирование компенсированного тока короны воздушных линий сверхвысокого напряжения

Рассмотрена задача моделирования характеристик потерь мощности тока короны воздушных линий сверхвысокого напряжения в программной среде MATLAB-Simulink. С целью оценки эквивалентных параметров короны проанализированы гармонические составляющие короны. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования с известными численными расчетами и экспериментальными данными.

Ключевые слова: воздушная линия переменного тока, эффект короны, модель короны, увеличение емкости воздушной линии, спектр гармоник.

Summary

İsayeva T.M.

Modelling of the compensated corona current of the high-voltage overhead lines

The task of modeling the characteristics of the power loss of the corona current extra high-voltage overhead lines in the MATLAB-Simulink software environment is considered. To estimate the equivalent parameters of the corona, the harmonic components of the corona are analyzed. A comparative analysis of the simulation results with known numerical calculations and experimental data was carried out.

Key words: AC overhead line, corona effect, corona model, capacity increase of overhead line, harmonic spectrum.