

TƏBİƏT VƏ TEXNİKA ELMLƏRİ BÖLMƏSİ

UOT 621.314

**GÜC TRANSFORMATORLARINDA DAXİLİ NASAZLIĞININ AŞKARLANMASI ÜÇÜN
HƏRƏKƏTLİ PƏNCƏRƏ ORTA ÜSULU**^{1,3}Ülkər İzzət qızı Aşurova, ^{2,3}Liliya Çingiz qızı Süleymanova¹texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosentulkar.ashurova@mdu.edu.az,²texnika üzrə fəlsəfə doktoruliliya.suleymanova@mdu.edu.az³Mingəçevir Dövlət Universiteti<https://doi.org/10.30546/SJSD.2025.5.1.033>

Xülasə: Güc transformatorları enerji sistemlərinin ən kritik komponentlərindən biridir və nasazlıqlardan etibarlı qorunmalıdır. Güc transformatorlarının mühafizəsində diferensial relelərdən geniş istifadə olunur. Bununla belə, bu relelər transformatorların işə salınması zamanı yaranan başlanğıc cərəyanları səhv salmağa həssasdır. Bu məqalə cərəyanın hərəkət edən pəncərəsinin orta hesablamasına əsaslanaraq alov cərəyanlarını aşkar etmək üçün yeni bir üsul təqdim edir. Tədqiqat müəyyən edib ki, bu üsulda digər pəncərələrdən daha çox Blackman Harris pəncərəsindən istifadə xətlərin aşkarlanması vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Təklif olunan üsul ağ Qauss səsi kimi güclü səsələrə davamlıdır. Nəhayət, təklif olunan üsul sənaye mühafizə relelərində ümumi istifadə edilən üsullarla müqayisə edilmişdir. Bu müqayisə zamanı nümayiş etdirildi ki, metod adi üsullarla müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir, o cümlədən yüksək ikinci harmonik və cərəyan transformatorunun doyma səviyyəsinin altında olan nasazlıqları aşkar etmək və müasir transformatorlarda düzgün işləmək imkanı yaradır. Ən həyati olan güc transformatorlarının qorunması enerji sistemlərinin komponentləri, enerji sisteminin etibarlılığı və işləməsi üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: güc transformatorları, qüsurların aşkarlanması, nominal cərəyan, diferensial rele, enerji sistemlərinin qorunması, hərəkətli pəncərənin orta hesablanması

Giriş

Nominal transformator cərəyanından təxminən 10^{-15} dəfə böyük ola bilən transformatorların başlanğıc cərəyanı, transformatorları qorumaq üçün, adətən, istifadə olunan diferensial relelərdə nasazlığa səbəb ola bilər. Bu nasazlıq transformatorun lazımsız işləməsinə və elektrik yükünün bir hissəsinin itirilməsinə səbəb ola bilər. Buna görə də, mühafizə sistemləri güc transformatorlarında nasazlıqları və başlanğıc cərəyanı ayırd etməlidir. Başlanğıc cərəyanların aşkarlanması bir çox tədqiqatın mövzusu olmuşdur ki, bunlar aşağıda nəzərdən keçirilir.

Başlanğıc cərəyanların aşkarlanması üsulları

Başlanğıc cərəyanların aşkarlanması üsullarını üç ümumi qrupa bölmək olar.

Birinci qrupa ikinci harmonik nisbətinin birinci harmonikaya nisbətindən istifadə edən üsullar daxildir. Bu üsullar yüksək ikinci harmonik ilə nasazlıqları aşkar edə bilməz. Həmçinin, texnologiyanın inkişafı ilə bir çox müasir transformatorlar indi 7 % -dən az olan ikinci harmonikaya malikdir, bu da ikinci harmonikanın nasazlıqlar zamanı başlanğıc cərəyanlar zamanı olduğundan daha böyük olacağı deməkdir. Burada digər harmoniklərə əsaslanan ani cərəyan aşkarlama metodu və mənfi güc ardıcılığına əsaslanan metod təqdim olunur. Burada diferensial cərəyanın sıfır kəsişmə nöqtələri arasındakı vaxt intervalı başlanğıc cərəyanları aşkar etmək və diferensial releni bloklamaq üçün istifadə olunur. Bununla belə, başlanğıc cərəyanlarda böyük bir DC komponentinin olması səbəbindən bu üsul cərəyan transformatorunun (CT) doyması zamanı nasaz ola bilər.

Başlanğıc cərəyanının aşkarlanması üsullarının ikinci qrupu, başlanğıc cərəyanları və nasazlıqları ayırd etmək üçün riyazi metodlara əsaslanan üsullardan ibarətdir. Məsələn, bu aşkarlama morfoloji gradient metodundan istifadə etməklə həyata keçirilir. Alqoritmlər başlanğıc cərəyan diferensiallaşdırılması üçün istifadə olunur, bu tapşırıq müvafiq olaraq, diferensial cərəyan gradient əsaslı metodu və ən kiçik kvadratlar əsaslı texnika istifadə edərək həyata keçirilir. Daxili nasazlıqları başlanğıc cərəyanlardan fərqləndirmək üçün dalğacıq çevrilməsinə əsaslanan xüsusiyyət çıxarma üsullarından istifadə olunur [1].

Tədqiqatçılar başlanğıc cərəyanı aşkar etmək üçün diferensial cərəyanın ikinci dərəcəli törəməsinin orta bucağına əsaslanan transformator mühafizə sxemini təklif ediblər. Bu sxemdə nasazlıq və başlanğıc cərəyanı arasındakı fərq faizli diferensial metodun və birinci və ikinci cərəyanın faza bucağı fərqlənməsinə əsasən aparılır.

Üçüncü qrup üsullar, alov cərəyanlarını aşkar etmək üçün ağıllı üsullardan istifadə edir. Məsələn, təqdim olunan metod ani cərəyanı aşkar etmək üçün süni neyron şəbəkəsindən istifadə edir. Bu məqsədlə qeyri-səlis məntiqə əsaslanan iki üsul təklif olunur. Bu üsullar həm tezlik, həm də vaxt sahələrində dəqiq nəticələr versə də, onlar uzun məlumat pəncərələri tələb edir və səs-küylü şəraitdə zəif performans nümayiş etdirirlər.

Daxili nasazlıqları başlanğıc cərəyandan ayırmaq üsulu

Son illərdə tədqiqatçıların diqqətini daxili nasazlıqları başlanğıc cərəyandan ayırmaq üçün hibrid üsullar cəlb etdi. Qeyri-səlis məntiqdən güc transformatorlarında baş verən cərəyandan daxili nasazlıqların ayrışdırılması alqoritmi işlənilib hazırlanır. Bu məqalədə ənənəvi ötürmə performansını yaxşılaşdırmaq üçün harmonik məhdudiyyətlərdən, axın-diferensial cərəyan törəmə əyrisindən və faiz diferensial xarakteristikası əyrisindən istifadə olunur. Başlanğıc cərəyanını daxili nasazlıqlardan ayırmaq üçün daha yüksək səviyyəli statistikaya əsaslanan bir üsul istifadə olunur [2]. Güc transformatorlarında bu metoddan istifadə etmək üçün əvvəlcə diferensial cərəyanların paylanma xüsusiyyətləri nöqtələri təhlil edilmişdir. Daha sonra, bu xüsusiyyətlərə görə, daxili nasazlıqları və alov cərəyanlarını fərqləndirmək üçün kurtos əsaslanan üç indeks nəzərə alınır.

R_{ef} - güc transformatorlarının qorunmasına doyma təsirinin öhdəsindən gəlmək üçün effektiv alqoritm təqdim edir. Doyma zamanı daha az təsirlənən cərəyan faza məlumatlarını əldə etmək üçün Fr'_{echet} məsafə alqoritmindən istifadə edirlər. Bu üsul arzu olunan nəticələrə nail olmaq üçün Fr'_{echet} məsafə alqoritmindən oxşarlıq identifikasiyası xüsusiyyətindən istifadə edir. Bununla belə, bu üsullar birbaşa cərəyan (DC) komponentinin çürüməsinə həssasdır və eyni zamanda gərginlik və cərəyandan asılıdır. Daxili nasazlıqlar və başlanğıc cərəyan arasındakı fərq cərəyanın mənfi ardıcılığı və əmsal enerjisi əsasında əldə edilir. Bu metodun sürətli işləməsinə baxmayaraq, nasazlığa qarşı həssaslığa malikdir və səs-küylü şəraitdə qeyri-dəqiq performansla malikdir [3]. Diferensial qoruma dəqiqliyini artırmaq üçün klassik və möhkəm bir texnika təklif olunur. Bununla belə, bu üsul nasazlığın başlanğıcı zamanı zəif performans göstərir.

Daxili nasazlıq və başlanğıc cərəyanın aşkarlanması

Daxili nasazlıq və başlanğıc cərəyanı aşkar etmək üçün aparılan bəzi son tədqiqatlara nəzər salaraq. Ədəbiyyat araşdırmasına görə, mövcud metodların çatışmazlıqlarını aşağıdakı kimi təsnif etmək olar:

1. Yüksək ikinci harmonik ilə nasazlıq zamanı zəif performans. Ən çox ona görə ki, sənaye relələrində ənənəvi üsulların əksəriyyəti ilkin cərəyanı aşkar etmək üçün ikinci harmonik səviyyədən istifadə edir, belə ki, nasazlıq yüksək dərəcəli harmoniklərlə baş verdikdə, o, başlanğıc cərəyan kimi aşkar edilə bilər.

2. İkinci harmonik amplitudunun aşağı olması səbəbindən yeni transformatorlarda başlanğıc cərəyanı zamanı nasazlıq.

3. Düzgün olması üçün dəqiq hədd dəyərinin müəyyən edilməsi zərurəti.

4. Yüksək nasazlıq aşkarlama müddəti (enerji sistemlərində nasazlıq bir neçə millisaniyə ərzində aşkar edilməli və nasaz hissə ən qısa zamanda şəbəkədən ayrılmalıdır, lakin bəzi üsullar nasazlığı aşkar etmək üçün kifayət qədər sürətli deyil).

5. Cərəyan transformatoru (CT) saturasiyası zamanı nasazlıq. Diferensial mühafizədə keçid hadisəsi baş verdikdə (bu hadisə transformatorun yaxınlığındakı ötürücü xətlərdən birində nasazlıq yarandıqda və ötürücü xəttin mühafizəsi nasazlığı aradan qaldırana qədər transformatorlardan yüksək amplitudalı cərəyan keçdikdə baş verir), xüsusən də elektrik stansiyasının transformatorları, CT-ləri doyurur. CT saturasiyası diferensial mühafizənin düzgün işləməməsinə səbəb ola bilər. Bu problem şəbəkənin etibarlılığına və sabitliyinə mənfi təsir göstərə bilər.

6. Müxtəlif növ nasazlıqların və baş verən cərəyanların intellektual üsullarla geniş şəkildə öyrədilməsinə ehtiyac. Ümumiyyətlə, ağıllı üsullar, dəqiq işləmək üçün müxtəlif növ nasazlıqların və alov cərəyanlarının düzgün hazırlanmasından çox asılıdır. Bugünkü mürəkkəb şəbəkələrdə bu təlimin miqdarı kəskin şəkildə artmışdır. Bundan əlavə, qorunan əraziyə uyğun olaraq təlim dəyişdirilməlidir. Bu metodların necə öyrədilməsi ilə bağlı müxtəlif tədqiqatlar aparılsa da, müxtəlif enerji sistemlərində, xüsusən də mürəkkəb şəbəkələrdə hər cür nasazlıqların və alovlanmaların yaradılması üçün vahid və dəqiq sistem hələ də mövcud deyil.

7. Yüksək hesablama yükü. Mühafizə releləri müxtəlif mühafizə alqoritmlərini həyata keçirmək üçün ümumiyyətlə mikroprosessorlardan istifadə edir. Yüksək hesablama həcmi və mürəkkəbliyi böyük problem ola bilər, çünki mikroprosessorlarda müxtəlif mühafizə funksiyaları və rabitə standartları tətbiq edilməlidir.

8. Yüksək seçmə sürətinin zəruriliyi. Bəzi üsullar, xüsusən də dalğacık transformasiyasından istifadə edənlər, dəqiq əməliyyat üçün yüksək seçmə dərəcələri tələb edir. Yüksək seçmə sürəti istehsal xərclərini artırır [4].

Mövcud ani cərəyan aşkarlama üsullarının çoxu yüksək harmoniklərlə nasazlıqların səhv aşkarlanması, yeni transformatorların nasazlığı, müxtəlif alov cərəyanları və nasazlıqlar üçün geniş təlimə ehtiyac duyulması və istifadəçinin bu üsulların istifadəsini məhdudlaşdıran bir neçə həddi diqqətlə təyin etməsi kimi problemlərdən əziyyət çəkir. Təklif olunan aşkarlama metodu Gauss səs-küyü kimi güclü səsələrə qarşı sürətli və yüksək davamlıdır.

Başlanğıc cərəyanı və nasazlıq şəraitində orta siqnalın dəyişmələri

Şəkil 1-də başlanğıc cərəyanı və nasazlıq şəraitində orta siqnalın dəyişmələri göstərir. Göründüyü kimi, şəkiləki siqnal dəyişiklikləri dörd hissədən ibarətdir. Birinci hissə transformator açarı olduqda başlayan artımdır. İkinci hissə, başlanğıc cərəyanın meydana gəldiyi zaman başlayan azalmadır. Üçüncü hissə elektrik enerjisi şəbəkəsində nasazlıq olduqda $t=0,5$ s-dir. Bu hissədə nasazlıq sabit vəziyyətə gələnə qədər siqnal yenidən artmağa başlayır. Dördüncü hissədə siqnal dəyişməz olaraq qalır. Bu xüsusiyyətlərdən nasazlıq və ilkin cərəyanı ayırd etmək üçün istifadə edilə bilər. Bu məqsədlə siqnalın dəyişmə sürəti hesablanır [5].

Qeyd etmək lazımdır ki, nümunə götürülmüş məlumatlar üzərində heç bir siqnal emal edilmir və bütün hesablamalar birbaşa siqnalın götürülmüş nümunələr üzərində aparılır. I_p əsas yan cərəyanları, I_s isə hər bir fazada transformatorun ikinci dərəcəli yan cərəyanlarını ifadə edir.

Daha sonra I_{diff} cərəyan siqnal yaratmaq üçün istifadə olunur. Bunun üçün əvvəlcə S_1 və S_2 əldə edilir.

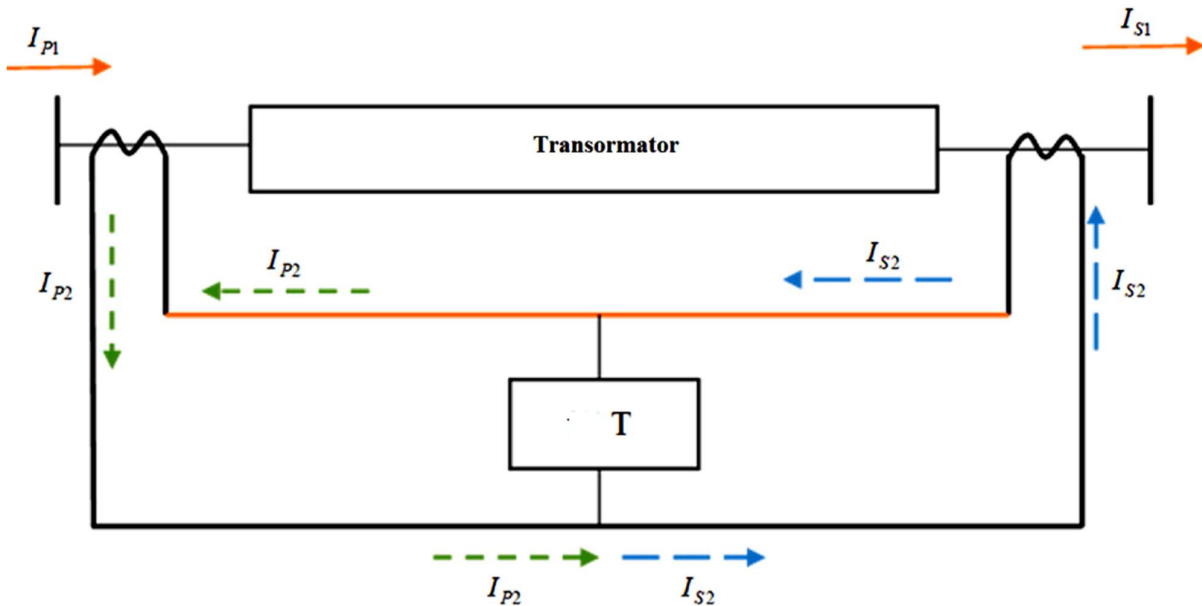
$$I_{diff}A = I_{p2}A + I_{s2}A; \quad I_{diff}B = I_{p2}B + I_{s2}B; \quad I_{diff}C = I_{p2}C + I_{s2}C$$

$$Signal = S1 + S2, \Delta signal = Signal(n+1) - Signal(n) \quad n = 1, \dots, L-1$$

burada $I_{diff}A$ - diferensial cərəyan mərhələsi A, $I_{diff}B$ - diferensial cərəyan mərhələsi B, $I_{diff}C$ - diferensial cərəyan mərhələsi C, $S1$ - siqnal 1, $S2$ - siqnal 2.

Şəkil 1-ə əsasən, başlanğıc cərəyanı zamanı siqnal dəyişikliyi sıfırdan fərqlidir. Ancaq nasazlıq zamanı bu qiymət sıfır olacaq. Daxili nasazlığı və başlanğıc cərəyanını ayırd etmək üçün aşağıdakı addımlar yerinə yetirilməlidir:

1. Cərəyan siqnalından nümunə götürülməsi.
2. Tənliklər əsasında diferensial cərəyanların hesablanması.
3. Tənliklər əsasında $S1$ və $S2$ qiymətlərinin hesablanması.
4. Siqnalın hesablanması əsasında.



Şək. 1. Diferensial güc transformatorunun mühafizə sistemi

5. İstifadə edərək orta dəyərin hesablanması.

6. Uyğun olaraq Δ siqnal dəyərinin hesablanması.

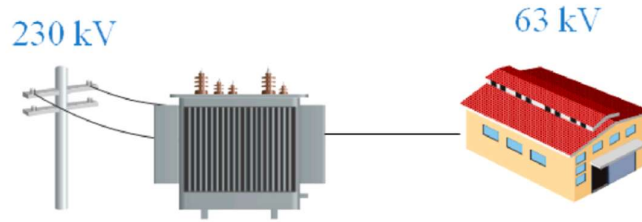
7. Bu mərhələdə xətanı aşkar etmək üçün nəzərdə tutulan şərtin yerinə yetirilib-yetirilməməsi yoxlanılır. Əgər yerinə yetirilərsə, səfər əmri verilir; şərt yerinə yetirilmədikdə, başlanğıc cərəyan aşkar edilir və alqoritm işləməyə davam edir.

1. *Hərəkətli pəncərənin seçilməsi.* Alınan nəticələr pəncərənin spesifikasiyalarından asılı olaraq dəyişə bilər. Buna görə də, ən çox istifadə olunan 4 siqnal pəncərəsi nəzərdən keçirilir: Rectangular, Bartlett, Blackman, Blackman Harris. Bu pəncərələrin vaxt sahəsi və tezlik sahəsi göstərilir. Hər bir pəncərənin performansını yoxlamaq üçün verilmiş siqnalın orta qiymətini hesablamaq üçün istifadə olunur. Müxtəlif pəncərələrdən alınan siqnallarda amplituda dəyişir. Həmçinin, müxtəlif pəncərələrin nasazlığın sabit vəziyyətinə çatması üçün müxtəlif vaxtlar lazımdır.

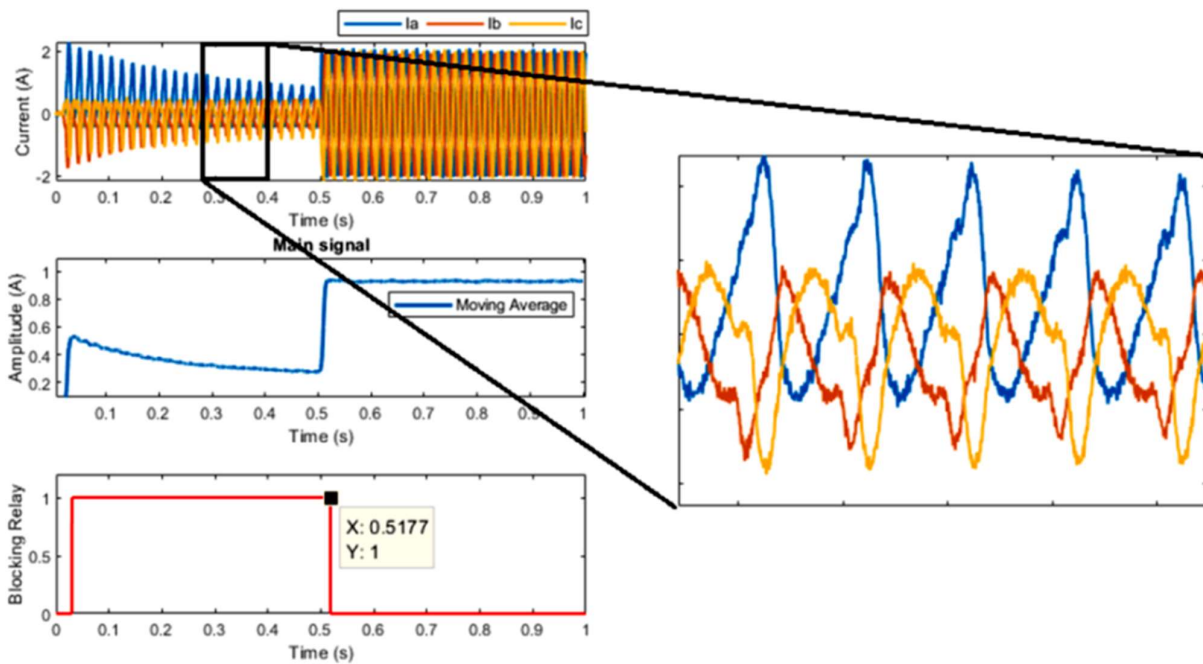
2. *Tədqiq olunan şəbəkə.* Təklif olunan metodun düzgünlüyünü qiymətləndirmək üçün şək. 2-də göstərilən tipik sistem simulyasiya edilir. Bu şəbəkənin texniki xüsusiyyətləri aşağıda təsvir edilmişdir. Sistem 230/63 kV transformator, müvafiq CT-dən ibarətdir. Şəbəkə və güc transformatoru simulyasiya edilmiş və sonra müxtəlif nasazlıq və başlanğıc cərəyan şəraitləri yaradılmışdır. Daha sonra alınan məlumatlar Matlab-a ötürülüb və burada alov cərəyanının aşkarlanması alqoritmı həyata keçirilir.

3. *Başlanğıc cərəyanının simulyasiyası.* Başlanğıc cərəyan, aşkar edilmədikdə, diferensial relələrdə nasazlığa səbəb ola biləcək güc sistemindəki anomaliyadır. Başlanğıc cərəyanlar müxtəlif enerji sisteminin komponentlərində, o cümlədən banklarında və böyük elektrik mühərriklərində baş verə bilər, lakin ən şiddətli axın cərəyanları ümumiyyətlə güc transformatorlarında baş verir. Bir başlanğıc cərəyanı yaratmaq üçün, metodun müxtəlif başlanğıc cərəyanı altında necə işlədiyinə dair hərtərəfli görünüş əldə etmək üçün transformatorun güc açarı müxtəlif bucaqlarda (θ) bağlandı. Təklif olunan metodun başlanğıc cərəyanla eyni vaxtda baş verən nasazlıqlara qarşı işini araşdırmaq üçün şəbəkədə çoxsaylı nasazlıq növləri simulyasiya edilir. Təklif olunan metodun başlanğıc cərəyanı ilə eyni vaxtda üç fazalı nasazlıqda baş verən performans göstərilir. Nasazlıqdan sonra siqnal dəyişmələri sabitləşdi və alqoritm releyi blokdan çıxardı (şək. 3).

4. *Nəticə.* Diferensial relələr güc transformatorlarının əsas mühafizə vasitəsi kimi geniş istifadə olunur. Diferensial relələr transformatorların işə salınması zamanı yaranan başlanğıc cərəyanları altında nasazlığa həssasdır və belə vəziyyətlərdə səhv olaraq söndürmə əmri verə bilər.



Şək. 2. Tədqiq olunan şəbəkə



Şək. 3. Səs-küylü siqnal üçün təklif olunan metodun icrası

Mövcud metodlarda yüksək dərəcəli harmoniklə nasazlıqların aşkar edilməməsi və nasazlıq kimi problemlər var. Bu problemdən qaçmaq üçün cərəyanın orta hesabla hərəkət edən pəncərəyə əsaslanaraq, başlanğıc cərəyanları və nasazlıqları ayırd etmək üçün yeni üsul təqdim edilir. Təklif olunan üsul müxtəlif başlanğıc cərəyan, nasazlıq və səs-küylü şəraitdə transformatoru olan 230/63 kV-luq şəbəkədə sınaqdan keçirilmişdir. Təklif olunan metod sənayedə geniş istifadə olunan üsullarla (ikinci harmonik, sıfır-kəsişmə) müqayisə edilmiş və bu üsullardan daha yaxşı performans göstərmişdir. Metodun işləmə müddəti 16,9 ms-dir. Bu da təklif olunan metodun sürətli olduğunu və mövcud məşhur metodlardan daha sürətli işlədiyini göstərir. Məsələn, ikinci harmonik üsul nasazlığı aşkar etmək üçün 50 Hz-də ən azı 20 ms vaxt aparır. Bundan əlavə, integral yanaşmanın normallaşdırılmış barmaqlıq əyrisi və xətanın qiymətləndirilməsi kimi yaxınlarda təklif olunan bəzi digər üsullar xətanı aşkar etmək üçün 20 ms-dən çox vaxt tələb edir. Bu müqayisə göstərir ki, təklif olunan metod mövcud üsullarla müqayisədə diferensial relede nasazlığın aşkarlanması sürətini 15,5% artırır. Nəticələr təklif olunan metodun üstünlüyünü göstərsə də, alov cərəyanının aşkarlanması sahəsində hələ də daha çox tədqiqata ehtiyac var. Gələcək tədqiqatlarda həll edilməli

olan ən mühüm məsələlərdən biri simpatik alov axınıdır. Paralel transformatorlarda simpatik alov cərəyanları yaranır və adi mühafizə üçün bəzi problemlər yaradır [6].

Statistik məlumatların qiymətləndirilməsi nəticəsində daxili zədələnmələrə və yağ emissiyalarına və ya transformatorların daxili zədələnməsi nəticəsində baş verən yanğınlar kimi fəlakətli nəticələrə daha çox həssas olan transformator qrupları müəyyən edilmişdir. Normativ sənədlərdə tövsiyə olunan mövcud diaqnostika sistemlərinin təhlili aparılmışdır. Təhlil göstərir ki, güc transformatorlarının modelləşdirilməsinin hazırkı səviyyəsi çox dərindir. O, bir neçə səviyyədə tədqiqat aparmağa imkan verir:

- stasionar və qeyri-stasionar;
- xətti və qeyri-xətti;
- statik və dinamik.

İşdə transformatorun aşağıdakı modellər şəklində təqdimatından istifadə edilmişdir: \

- struktur;
- funksional;
- funksional-struktur.

Bu, FS diaqnostikası üçün ən effektiv model yaratmağa imkan verir. Struktur təsviri transformatorun dizayn xüsusiyyətlərinə yönəldilmişdir. İstifadə olunan qrafik struktur modeli (SM) məhsul elementlərinin (yığılmış bölmələr, hissələr, birləşmələr) və onlar arasındakı əlaqələrin sifarişli təsviridir - obyektin struktur komponentləri, onların əsas xüsusiyyətləri haqqında fikir verir. Bu halda transformator *AND-OR* məntiqi ağac kimi qəbul edilir. Hazırlanmış ağac amillərin transformatorunun etibarlılığına və sınaqdan keçirilməsinə (diaqnostikasına) təsirini təhlil etməyə imkan verir:

- fiziki təsirlərin qarşılıqlı element-element təsiri (istiliyin ötürülməsi, potensialların induksiya, sızma axını ilə elementlərin qızdırılması, cərəyan keçirən hissələrin yerdəyişməsi və s.);
- funksional birliyi təmin edən elementlərin birləşmələri (elementlərin torpaqlama dövrəsində qırılma, cərəyan edən hissələrin dövrəsində qırılma və s.);
- dizayn xüsusiyyətləri (izolyasiya növü, soyutma sistemi, sarğı bərkidilməsi).

AND-OR ağacından istifadə edilməsi bizə eyni tipli transformator qovşaqlarının nasazlıq statistikasını təhlil etməyi, transformator hissələri ilə etibarlılıq arasındakı əlaqəni nəzərə almağa imkan verir.

Funksional model (FM) məntiqi-qrafik modelləşdirməyə müxtəlif yanaşmaların istifadəsi diaqnostik obyektin parçalanma səviyyələrini müəyyən etməyə, güc transformatorunun və daxili (obyektdaxili), əsas və köməkçinin xarici (obyekt miqyasında) funksiyalarını formalaşdırmağa imkan verir. ST struktur transformator modelinə uyğun olaraq, on üç müstəqil funksional hissə müəyyən edilir, montaj bölmələri tərəfindən həyata keçirilir və onların funksiyaları tərtib edilir. Funksiyaya yanaşmalardan istifadə edərkən transformatorun rəşional və struktur təsviri ilə yanaşı diaqnostika üçün transformatorun funksional-struktur modeli hazırlanmışdır. Transformatorun elementlərinin sıradan çıxması halında onun ehtiyatsız işləməsinin təsirinin təhlili funksional-struktur modeldən istifadə etməklə aparılmışdır [7].

Nəticə

Güc transformatorlarında nasazlıqların və fəvqəladə proseslərin tədqiqinə, o cümlədən vəziyyətin qiymətləndirilməsində tədbirlərin səmərəliliyinin artırılmasına və güc transformatorlarının işinin etibarlılığının müəyyən edilməsi üçün qarşıya qoyulan məqsədlərə nail olmaqla vəzifələr həll edildi:

1. Transformatorun struktur təsviri və müxtəlif növ transformatorlar üçün məlumatları yığcam formada yadda saxlamaq üçün TR ağacı qurulmuşdur. Bu, kompüter diaqnostikası ST informasiya dəstəyi yaratmaq üçün ilkin şərtləri təmin edir.

2. Diaqnostik obyekt kimi transformatorun funksional təsviri təklif olunur. KT-nin funksional modeli əsas, ikincil, daxili, əsas funksiyaları və transformatorun işləməsini təmin etməkdə onların rollarını formalaşdırmağa imkan verir. Funksional təsvirdən istifadə edərək, transformatorun qov-

şəqləri və elementləri olmadan bütün funksiyaları yerinə yetirib-yetirmədiyi müəyyən edilir, onun normal fəaliyyətini təmin etmək lazımdır.

Funksional-struktur təsviri transformatorun əsas funksiyalarının kifayət qədər artıqlıq dərəcəsini müəyyən etməyə imkan verir.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. Weng, H., Wang, S., Lin, X., Li, Z., Huang, J. A novel criterion applicable to transformer differential protection based on waveform sinusoidal similarity identification. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 105, 305–314. 2019.
2. Weng, H., Wang, S., Wan, Y., Lin, X., Li, Z., Huang, J. Discrete Fréchet distance algorithm based criterion of transformer differential protection with the immunity to saturation of current transformer. Int. J. Electr. Power Energy Syst., 115, 2020.
3. Marques, J., Lazaro, C., Morais, A., Cardoso, G., A reliable setting-free technique for power transformer protection based on wavelet transform. Elec. Power Syst. Res. 162, 161-168, 2018.
4. Попов Г. В., Наглецов А.В., Аль-Хамри С.С. Экспертная поддержка при диагностике состояния силовых трансформаторов // Электротехника. № 8. 2003, с.5-11.
5. Использование информационных технологий для повышения эффективности изучения конструкции электрических машин / Попов Г.В. Швецов А.В., Аль-Хамри С.С. и др. // Электромеханика. Изв. вузов. № 1. 2005, с.66-69.
6. Аль-Хамри С.С., Швецов А.В. Интерпретация результатов диагностики силовых трансформаторов на основе графических моделей // П-я межрегиональная науч.-техн. конф. студ. и асп. «Информационные технологии, энергетика и экономика». Смоленск, 2005, с.3-5.
7. Аль-Хамри С.С., Швецов А.В. К вопросу о создании архива дефектных состояний электрооборудования // Состояние и перспективы развития электротехнологии: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. "XII Бенардосовские чтения" / Иван. гос. энерг. ун-т им В.И. Ленина. Иваново, 2005. с. 161.

MOVING WINDOW AVERAGE METHOD FOR INTERNAL FAULT DETECTION IN POWER TRANSFORMERS

^{1,3}U.I.Ashurova, ^{2,3}L.Ch.Suleymanova

¹Doctor of Philosophy in Technics, Associate Professor

²doctor of philosophy in technics

³Mingachevir State University

Abstract: Power transformers are one of the most critical components of power systems and must be reliably protected against faults. Differential relays are widely used in the protection of power transformers. However, these relays are susceptible to erroneous inrush currents generated during the starting of transformers. This paper presents a new method for detecting flame currents based on moving window averaging of the current. The study found that using the Blackman Harris window over other windows in this method significantly reduced error detection time. The proposed method is robust to strong noise such as white Gaussian noise. Finally, the proposed method is compared with commonly used methods in industrial protection relays. In this comparison, it was demonstrated that the method has several advantages over conventional methods, including the ability to detect high second harmonics and faults below the saturation level of the current transformer and allow for correct operation in modern transformers. The protection of power transformers, which are the most vital components of power systems, is of great importance for the reliability and operation of the power system.

Keywords: power transformers, fault detection, rated current, differential relay, protection of power systems, moving window averaging

**МЕТОД УСРЕДНЕНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ
ВНУТРЕННИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ**^{1,3}У.И.Ашурова, ^{2,3}Л.Ч.Сулейманова¹доктор философии по технике, доцент²доктор философии по технике²Мингячевирский государственный университет

Резюме: Силовые трансформаторы являются одними из наиболее ответственных компонентов энергосистем и должны быть надежно защищены от неисправностей. Дифференциальные реле широко используются при защите силовых трансформаторов. Однако эти реле чувствительны к ошибочным пусковым токам, возникающим во время запуска трансформаторов. В данной статье представлен новый метод обнаружения токов пламени, основанный на усреднении тока по скользящему окну. Исследование показало, что использование окна Блэкмана-Харриса по сравнению с другими окнами в этом методе значительно сокращает время обнаружения ошибок. Предложенный метод устойчив к сильному шуму, такому как белый гауссовский шум. Наконец, предлагаемый метод сравнивается с широко используемыми методами в промышленных реле защиты. В ходе этого сравнения было продемонстрировано, что метод имеет ряд преимуществ перед традиционными методами, в том числе способность обнаруживать высокие вторые гармоники и неисправности ниже уровня насыщения трансформатора тока и обеспечивать правильную работу в современных трансформаторах. Защита силовых трансформаторов, которые являются наиболее важными компонентами энергосистем, имеет большое значение для надежности и работы энергосистемы.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, дефектоскопия, номинальный ток, дифференциальное реле, защита энергосистем, скользящее окно усреднения

Elmi redaktor: tex.f.d., dos. T.Hüseynov

Çapa təqdim edən redaktor: tex.f.d., dos. A.Əliyeva

Daxil olub: 10.04.2025

Çapa qəbul edilib: 17.04.2025