

UOT 681.5.01

ELEKTRİK TƏCHİZAT SİSTEMİNDƏ GƏRGİNLİK SƏVİYYƏSİNİN STATCOM VASİTƏSİLƏ QORUNMASI

Zeynalova N.F.

“Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu” MMC

Az1122, Bakı şəh., Həsən bəy Zərdabi küç., 94

Azərbaycan Texniki Universiteti

Az1073, Bakı şəh., H. Cavid pr., 37

E-mail: zeynalovanuride0@gmail.com

Xülasə. Müasir sənayenin inkişafı çox sayda müxtəlif elektrik aparatlarının və mürəkkəb elektron cihazların tətbiqi ilə ayrılmaz şəkildə bağlıdır. Bu proses, elektrik istehlakının əhəmiyyətli dərəcədə artması ilə müşayiət olunur. Bu prosesdə ciddi maneələrdən biri müəssisənin işində pozuntulara və avadanlıqların sıradan çıxmasına səbəb olan gərginlik düşmələridir. Məqalədə mövzunun aktuallığı təsvir olunur və gərginlik düşməsi anlayışının tərfi verilir. Müəssisələrdə gərginlik düşməsinin əsas səbəbləri və nəticələri haqqında məlumatlar təqdim olunur.

Abstract. The growth of modern industry directly connects to the introduction of a wide variety of electrical apparatus and complex electronic devices. This growth inevitably leads to a significant increase in electricity consumption. Voltage sags present a serious obstacle in this process, causing disruptions in operations and equipment failures, which can lead to costly downtimes and increased maintenance expenses. The article discusses the relevance of the topic, defines voltage sags. The analysis presents data on the primary causes and effects of voltage sags at various enterprises.

Аннотация. Развитие современной промышленности неразрывно связано с внедрением большого количества разнообразных электрических аппаратов и сложных электронных устройств. Данный процесс неизбежно сопровождается значительным ростом потребления электроэнергии. Серьезным препятствием в этом процессе являются провалы напряжения, приводящие к нарушениям работы предприятия и поломке оборудования. В статье описана актуальность темы, дано определение понятия провала напряжения. Представлены данные об основных причинах и последствиях провалов напряжения на предприятиях.

Açar sözlər: elektrik təchizat sistemi, gərginliyin kəskin düşməsi, statik reaktiv güc kompensatoru, STATCOM

Key words: power supply system, voltage drop, static reactive power compensator, STATCOM

Ключевые слова: система электроснабжения, провал напряжения, статический реактивный силовой компенсатор, СТАТКОМ

Giriş. Məlumdur ki, fasiləsiz enerji təchizatı olmadıqda, müəssisələrdə quraşdırılmış texnoloji avadanlıqlar normal işləyə bilməz [1]. Şəkil 1-də gərginliyin kəskin düşməsinin qiyməti və davamətmə müddəti ilə xarakterizə olunan gərginliyin kəskin düşməsi təsvir edilmişdir.

Mürəkkəb texnoloji proseslərə malik sənaye müəssisələrinin enerji təchizatı sistemləri (kimya, neft hasilatı, neft emalı və s.) mürəkkəb strukturu və mühərrik yüklərinin (nasoslar, kompressorlar, ventilyatorlar və s.) böyük nisbəti və gücü ilə xarakterizə olunur. Enerji təchizatı sistemində gərginliyin enməsi və kəskin düşməsi zamanı elektrik mühərriki yüklərinin yüksək

etibarlılığı, avtomatik olaraq yenidən işə salınması və ehtiyat gücün avtomatik daxil edilməsini təmin etmək lazımdır.

Sənaye müəssisələrinin xarici elektrik təchizatı şəbəkələrində gərginliyin azalmasının əsas səbəbi birfazlı qısaqapanmalardır. 6-10 kV gərginlikli sənaye müəssisələrinin daxili enerji təchizatı şəbəkələri üçün gərginliyin azalmasının əsas səbəbləri:

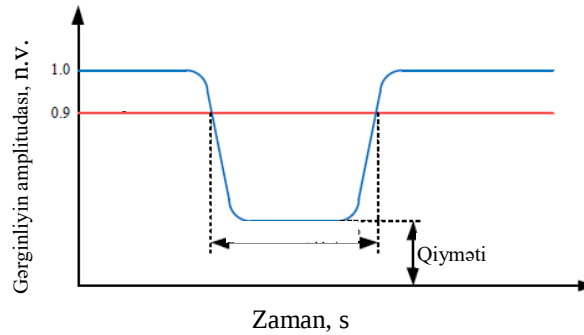
- 6-10 kV-lik şəbəkədə qısaqapanmalar;
- güclü elektrik mühərriklərinin işə salınması və öz-özünə işə düşməsi.

6-10 kV-lik şəbəkədə zədələnmənin əsas növü iki fazlı qısaqapanmaya keçən yerlə bir fazlı qapanma və ya ikiqat yerlə qapanmadır.

Texnoloji avadanlıqların pozulmasının əsas səbəbləri bunlardır:

- gərginlik düşməsi;
- mexaniki aşınma;
- mənfi ekoloji şərait;
- proqram səhvləri.

Əsas hissə. Müəssisələrin elektrik təchizat sistemlərində yaranan problemlərdən ən əsası gərginliyin kəskin düşməsidir ki, bu da sistemdə qəza vəziyyəti yaradır. Buna görə də, elektrik təchizatı şəbəkələrində gərginliyin sabitliyini qorumaq hazırda bir çox aparıcı sənaye müəssisələri üçün çox vacibdir.



Şəkil 1. Gərginliyin kəskin düşməsinin tipik nümunəsi

Gərginliyin kəskin düşməsi, elektrik sisteminin müəyyən edilmiş nöqtəsində gərginliyin təyin olunmuş qiymətindən müvəqqəti azalması kimi müəyyən edilir [2]. Onlar adətən, düzbucaqlı bir formaya malikdirlər, qiyməti və davam etmə müddəti ilə xarakterizə olunurlar. Şəkil 1-də gərginliyin kəskin düşməsinin forması göstərilmişdir [3].

Elektrik gərginliyinin qiymətinin 0,9 Unom-dan aşağı düşməsi, burada Unom - nominal gərginlikdir. Gərginliyin nominal qiymətindən 10%-dən çox aşağı düşməsi pozulma kimi müəyyən edilir [4].

[5]-ə görə, elektrik şəbəkələrində gərginliyin kəskin düşməsinə əsas səbəbləri aşağıdakılar ola bilər:

1. Elektrik nasazlıqları. Enerji paylama sistemindəki qısa qapanma, fazalararası qapanmalar və faza və yer arasında qapanma gərginliyin kəskin düşməsinə əsas səbəbdir. Onlar 35-500 kV gərginlikli sənaye müəssisələrinin xarici enerji təchizatı şəbəkələrində və 6-10 kV gərginlikli sənaye müəssisələrinin daxili enerji təchizatı şəbəkələrində baş verir.

2. İcazəsiz açılımlar. Heyətin səhv hərəkətləri, texnoloji mühafizədən açılma və ya əks-qəza avtomatik qurğularından açılma. Bu tip kəskindüşmələr qidalanma gərginliyinin olmaması ilə xarakterizə olunur və onların davam etmə müddəti ($T = 0,1-4$ s) olmaqla avtomatik mühafizə cihazlarının cavab müddəti ilə müəyyən edilir.

3. Şəbəkənin dəyişdirilməsi. Belə hallarda, güclü mühərriklərin işə salınması nəticəsində yaranan gərginliyin kəskin düşmə miqyası 30 saniyəyə qədər davam edən 0,8 Unom-a çata bilər. Bu enişlərin nəticələri icazəsiz bağlanmaların yaratdığı nəticələrlə eynidir.

Sənaye şəraitində gərginliyin azalmasının nəticələri ciddi ola bilər: istismarda kiçik fasilələrdən tutmuş avadanlıqların əhəmiyyətli zədələnməsinə və istehsal itkilərinə qədər. Əsas nəticələr bunlardır:

1. İşdə nasazlıqlar və boşdayanmalar. Avtomatlaşdırılmış istehsal xətlərinin, robot texnikasının və digər sənaye avadanlıqlarının düzgün işləməsi sabit gərginlikdən asılıdır. Gərginliyin düşməsi bu sistemlərdə nasazlıqlara, onların sıfırlanmasına və ya tam dayanmasına səbəb ola bilər. Hətta qısamüddətli fasilə istehsal proseslərini dayandıra bilər, xüsusən də avtomobil istehsalı və ya kimyəvi emal kimi yüksək sürətli, fasiləsiz əməliyyatları olan sənayelərdə dayanma vaxtı və əhəmiyyətli itkilərə səbəb ola bilər.

2. Avadanlıqların nasazlıqları. Gərginliyin azalması proqramlaşdırıla bilən məntiq kontrollerləri (PLC), tezlik-tənzimləmə intiqalları və idarəetmə sistemləri kimi həssas elektronika nasazlıqlara səbəb ola bilər.

3. Mühərrikin effektivliyinin aşağı düşməsi və dayanma. Elektrik mühərrikləri konveyerlərdən və nasoslardan tutmuş istilik, havalandırma və kondisioner sistemlərinə qədər sənaye tətbiqlərində geniş istifadə olunur. Gərginliyin kəskin düşməsi fırladıcı momenti azaldır, nəticədə məhsuldarlıq azalır. Bəzi hallarda mühərriklər dayana bilər və bu, həddindən artıq istiləşməyə və ya zədələnməyə səbəb ola bilər. Təkrarlanan dayanmalar mühərrikin aşılmasına, avadanlığın ömrünün azalmasına və texniki xidmət xərclərinin artmasına səbəb ola bilər.

4. Mühafizə cihazlarının tez-tez işə düşməsi. Avtomatik açarlar, relelər və qoruyucular gərginliyin kəskin düşməsinə cavab olaraq, baş verənləri həddindən artıq yüklənmə və ya nasazlıq kimi başa düşərək, işə düşə bilərlər. Bu, zavodun maşın və avadanlıqlarının lazımsız şəkildə dayandırılmasına, əməliyyatların daha da pozulmasına səbəb ola bilər. Mürəkkəb avadanlıqları olan sənayelərdə sistemlərin yenidən işə salınması əhəmiyyətli vaxt və səy tələb edə bilər ki, bu da istehsalın gecikməsinə səbəb olur.

Qeyd edildiyi kimi gərginliyin kəskin düşməsinin əsas xarakteristikası onun qiyməti və davam etmə müddətidir. Ona görə də onun təsirini aşağı salmaq üçün tətbiq olunan tədbirləri iki yerə ayırmaq olar:

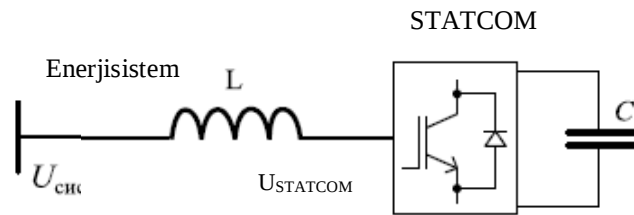
1) Gərginliyin kəskin düşməsinin dərinliyini azaltmaq üçün vasitələr [6]:

- statik reaktiv güc kompensatoru;
- statik fasiləsiz enerji təchizatı;
- dinamik gərginlik təhrif kompensatoru;
- volan (maxovik);
- batareyanın enerji saxlama sistemi;
- sinxron maşınların təsirlənmə sürətinin artırılması.

2) Gərginliyin kəskin düşməsinin davam etmə müddətini azaltma üsulları:

- Ehtiyatın yüksək sürətli avtomatik qoşulması;
- Yüksək sürətli mühafizənin istifadəsi.

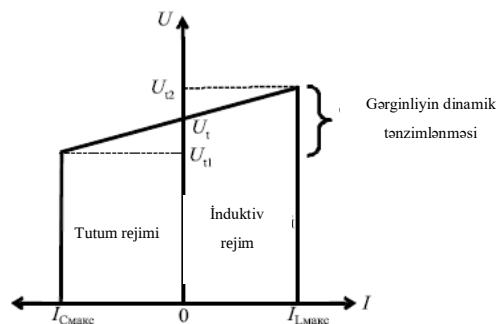
Statik reaktiv güc kompensatoru (STATCOM) dəyişən cərəyan ötürmə xətlərində quraşdırılmış və paralel qoşulmuş bir qurğudur [7]. Onun əsas elementləri izolyasiya edilmiş qapılı bipolyar tranzistorlar (IGBT) kimi güc yarımkeçirici cihazları və kondensatorlar, rezistorlar və induktorlar kimi passiv elementlərdir [8]. STATCOM, FACTS (Flexible AC Transmission System) texnologiyası ilə əlaqəli cihazlar qrupunun bir hissəsidir [9]. FACTS (Flexible AC Transmission System) idarəetmə qabiliyyətini və enerji ötürmə imkanlarını təkmilləşdirmək üçün əsas komponentləri güc elektron cihazları və digər statik kontrollerlər olan sistemdir ki, bu da elektromexaniki bazadan istifadə edən sistemlərlə müqayisədə daha sürətli cavab verir [9]. STATCOM-un elektrik şəbəkəsinə qoşulma sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. STATCOM-un şəbəkəyə birləşmə sxemi

STATCOM-un əsas hissəsi bir-birinə bağlı IGBT tranzistorları seriyası ilə təmsil olunan statik çeviricidən ibarətdir. O, iki rejimdə işləyə bilər - reaktiv gücün generasiyası və istehlakı. İnverterlər C kondensatorunun yaratdığı sabit gərginliyi dəyişən gərginliyə çevirir. L induktorları ilə təmsil olunan birləşdirici transformatorlardan istifadə edərək, STATCOM yüksək gərginlikli sistem ilə statik kompensatorun nominal gərginliyi arasında izolyasiyanı təmin edərək, elektrik şəbəkəsinə qoşulur [9].

STATCOM-un tədqiqi üçün şəkil 3-də göstərilən STATCOM-un volt-ampər xarakteristikası nəzərə alınmalıdır.



Şəkil 3. STATCOM-un volt-ampər xarakteristikası

Şəkilə STATCOM-un iki iş rejimi göstərilir:

1. Gərginliyin tənzimlənməsi;
2. Elektrik şəbəkəsində reaktiv güc balansının təmin edilməsi.

Şində gərginlik nominal qiymətdən U_t kənara çıxırsa və U_{t1} və U_{t2} arasında dəyişirsə, STATCOM gərginliyin tənzimlənməsi rejimində işləyir və şində gərginliyini nominal qiymətdə saxlayır. Şin gərginliyi U_{t1} -dən aşağı düşərsə və ya U_{t2} -dən yuxarı qalxarsa, STATCOM sistemə tutum və ya induktiv cərəyan verməklə şəbəkədəki reaktiv gücü idarə etməyə başlayır.

Dinamik xüsusiyyətlərinə görə, STATCOM digər reaktiv güc kompensatorlarını əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir.

Nəticə. 1. Bu məqalədə müasir sənaye müəssisələrində enerji təchizatının xüsusiyyətlərini araşdırılır. Sənaye enerji sistemlərində qəza hallarının əsas səbəbləri təqdim olunur. Gərginliyin kəskin düşməsi texnoloji avadanlıqların nasazlığının əsas səbəbi olduğu göstərilir. Sənaye müəssisələri üçün gərginliyin azalmasının texnoloji və iqtisadi nəticələri də təsvir edilmişdir.

2. Gərginliyin kəskin düşməsi ilə mübarizə üçün əsas vasitələrin və üsulların siyahısı verilmişdir. Şəbəkədə gərginliyi sabitləşdirmək üçün ən təsirli cihazlardan biri - STATCOM hesab olunur. STATCOM-un iş prinsipi təsvir edilmiş, onun şəbəkəyə qoşulmasının təsviri verilmiş və onun əsas iş xüsusiyyətləri verilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Эффективный метод определения места короткого замыкания в электрических сетях. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023;25(2):71-83. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-2-71-83>
2. Червонченко С.С., Фролов В.Я. Исследование работы автономного электротехнического комплекса с комбинированным составом резервных источников питания. *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ*. 2022;24(4):90-104. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-4-90-104>
3. Khaleel M., Yusupov Z., Elmnifi M., Elmenfy T., Rajab Z., & Elbar, M. (2023). Assessing the Financial Impact and Mitigation Methods for Voltage Sag in Power Grid. *Int. J. Electr. Eng. And Sustain.*, 1(3), 10–26. Доступно по: <https://ijees.org/index.php/ijees/article/view/40> Ссылка активна на 16 января 2025.
4. Корнилов Г.П., Коваленко А.Ю., Николаев АА., и др. Ограничение провалов напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. – 2014. – № 2(23). – С. 44-48. – EDN SNOTPZ.
5. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю. Е. Гуревич, К. В. Кабиков; Ю. Е. Гуревич, К. В. Кабиков. – Москва: Элекс-КМ, 2005. – 407 с. – ISBN 5-93815-025-6. – EDN QMIQZR.
6. Qingguang Y., Pei L., Wenhua L. and Xiaorong X. Overview of STATCOM technologies. *IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings, Hong Kong, China, 2004*, pp. 647-652 Vol.2, doi: 10.1109/DRPT.2004.1338063.
7. Hamdan I., Ibrahim A.M.A., Noureldeen O. Modified STATCOM control strategy for fault ride-through capability enhancement of grid-connected PV/wind hybrid power system during voltage sag // *SN Appl. Sci.* 2020. N2, p. 364. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2169-6>
8. Sharma V., Chandrakar V. Power Quality Enhancement by minimizing the effect of Voltage Sag in Non-linear Load Using D-STATCOM // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. 2325. 012019. 10.1088/1742-6596/2325/1/012019.
9. Zeynalova N.F., Hacıyev N.I., Rəcəbov K.D., Nuriyeva N.C. Reaktiv gücün müasir üsullarla kompensasiyası. *SDU, "Elmi xəbərlər", Cild 23, 2023, №1*

*Məqalə qəbul olunub: 30.10.25
Təvsiyə edib: dos. Sultanov E.F.*