

AVIASIYA ELEKTRONİKASI

ÜÇÜNCÜ HARMONİKA GƏRGİNLİYİ METODU ƏSASINDA GENERATORUN STATOR DOLAĞININ YERLƏ QAPANMALARDAN MÜHAFİZƏSİNİN TƏDQIQI

R.M. Abbasov, E.N. Hüseyinov*

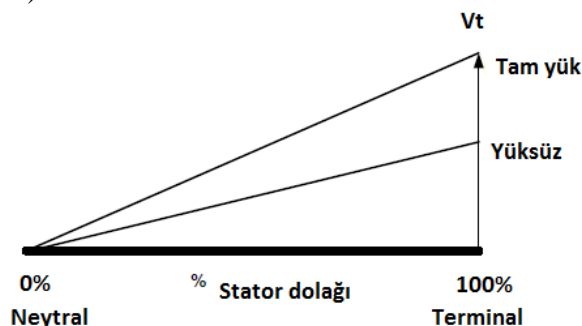
Milli Aviasiya Akademiyası, *Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Məqalədə generatorun stator dolağının üçüncü harmonika gərginliyi metodu əsasında işləyən mühafizəsinin xüsusiyyətlərinə baxılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, maksimal gərginlik sxeminin tətbiqi generatorun yük rejimindən asılıdır. Minimal gərginlik sxemi generatorun stator dolağının 83 %-li mühafizəsini təmin edir və generatorun yük rejimindən asılı deyil.

Açar sözlər: sinxron generatorlar, stator dolağının mühafizəsi, yerlə qapanma, üçüncü harmonika gərginliyi.

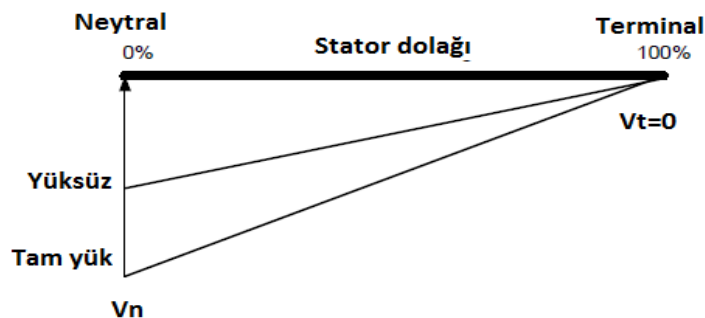
Məlum olduğu kimi, ənənəvi mühafizə sxemlərinin tətbiqi generatorun stator dolaqlarının yerlə qapanmalardan tam mühafizəsini təmin etmir. Buna səbəb ənənəvi sıfır ardıcılıqlı cərəyan mühafizəsinin “ölü” zonaya malik olmasıdır. Belə ki, qısaqapanma neytrala yaxın olduğu halda, bu mühafizə qapanmanın aradan qaldırılmasına təsir etmir. Bu problemi həll etmək üçün generatorun stator dolağının yerlə qapanmalardan tam mühafizəsini təmin edən, üçüncü harmonika gərginliyi metodundan istifadə olunur [1].

Üçüncü harmonika metoduna əsasən, generatorun neytralında və çıxış terminalında gərginliyin üçüncü harmonikası yerə nəzarən ölçülür. Generatorun neytralının yaxınlığında qapanma baş verdikdə, neytral tərəfdə üçüncü harmonika gərginliyi sıfıra qədər azalır, çıxışlarında isə kəskin şəkildə artır (şək.1).



Şək.1. Neytralın yaxınlığında qapanma zamanı gərginliyin üçüncü harmonikaları

Qapanma dolağın çıxışına yaxın baş verdiyi halda, terminalda üçüncü harmonikanın gərginliyi sıfıra qədər azalır, neytralda isə artır (şək.2).



Şək.2. Generator dolağının çıxışında qapanma zamanı gərginliyin üçüncü harmonikaları

Beləliklə, generator dolağının uclarındakı üçüncü harmonikanın qiymətləri qapanmanın harada baş verdiyindən xəbər verir. Üçüncü harmonika metodu qapanmanın neytrala yaxın baş verdiyi halda, uclarındakı gərginliklərin ölçülməsinə və mühafizələrin qoyuluş parametrlərinin seçilməsinə əsaslanır.

Bu məqsədlə aşağıdakı mühafizə sxemlərindən istifadə olunur:

1. Minimal gərginlik sxemi.
2. Maksimal gərginlik sxemi.

Minimal gərginlik sxemində üçüncü harmonikanın dəyişməsi neytralin yaxınlığında ölçülür. Neytralin uclarında qapanmanın baş verdiyi halda, gərginlik azalır, bu da minimal gərginlik relesinin işləməsinə gətirib çıxarır. Maksimal gərginlik sxemində üçüncü harmonikanın dəyişməsi, dolağının çıxışların yaxınlığında ölçülür. Neytarın uclarında qapanmanın baş verdiyi halda, həmin gərginlik artır, bu da maksimal gərginlik relesinin işləməsinə gətirib çıxarır.

Müxtəlif yük rejimlərində gərginliyin üçüncü harmonikalar üçün tipik qiymətləri cədvəl 1-də, generator blokunun nominal parametrləri cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1

Normal iş rejimində üçüncü harmonika gərginliklərinin qiymətləri

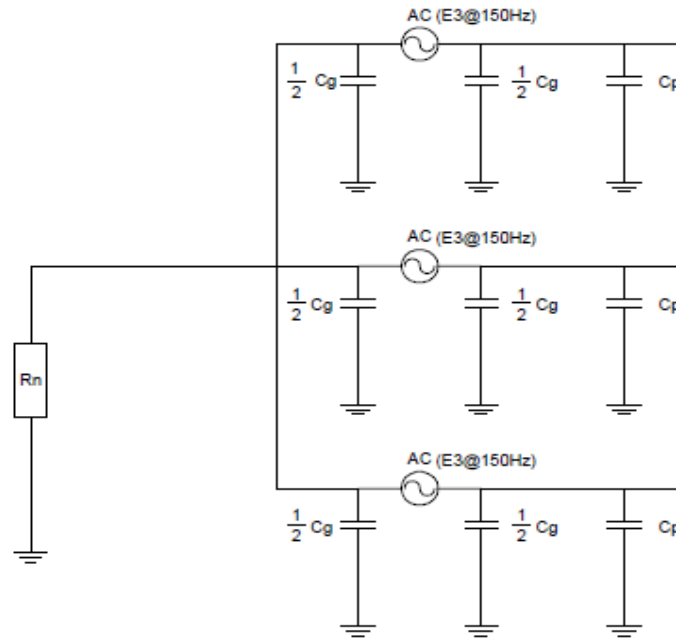
Yük rejimi	E3 (V)
Yüksüz	210
Tam yüklənmiş	420
Az yüklənmiş	121

Cədvəl 2

Generator blokunun nominal parametrləri

Güc (S_n)	850 MVA
Keçici induktiv müqavimət (X'_d)	0.43 Ω
Yüksək keçid induktiv müqaviməti (X''_d)	0.25 Ω
Sıfır ardıcılıqlı induktiv müqavimət (X_0)	0.13 Ω
Əks ardıcılıqlı induktiv müqavimət (X_2)	0.24 Ω
Sıfır ardıcılıqlı aktiv müqavimət (R_0)	0.0025 Ω
Düz ardıcılıqlı aktiv müqavimət (R_1)	0.0034 Ω
Əks ardıcılıqlı aktiv müqavimət (R_2)	0.04 Ω
Stator dolağının yerə nəzərən tutumu (C_{yer})	0.385 mkF
Torpaqlama müqaviməti (R_n)	$10 \text{ A} \times 21 / \sqrt{3} = 1212 \Omega$
Xəttin tutumu ($C_{xətt}$)	Hər fazada 0.1 mkF
Yüksəldici transformatorla açarların arasındakı dalğa tutumu ($C_{dalğa}$)	Hər fazada 0.25 mkF
Yüksəldici transformatorun tutumu (C_{tr})	Hər fazada 0.2 mkF

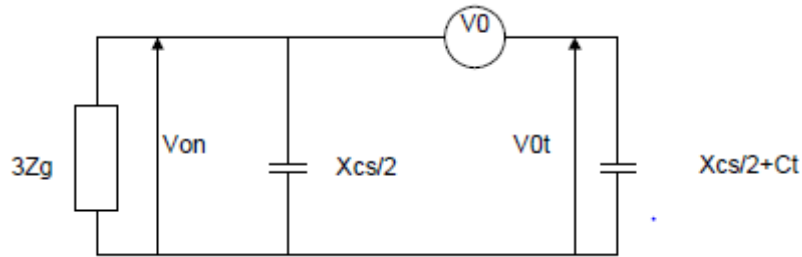
Generatorun normal iş rejimində və qapanma baş verdiyi halda sadələşdirilmiş ekvivalent sxemləri qurulmalıdır (şək.3).



Şək. 3. Normal iş rejimi üçün ekvivalent sxem

Burada: E3 – gərginliyin üçüncü harmonikasındır. C_g – generatorun stator dolağının yerə nəzərən tutumudur; C_p – generatorun çıxışlarına qoşulmuş avadanlıqların yerə nəzərən tutumlarının cəmidir, R_n – torpaqlanma müqavimətdir.

Məlum olduğu kimi, üçüncü harmonikanın gərginliyi sıfır ardıcılıqlı toplanan kimi baxıla bilər (şək.4).



Şək. 4. Sıfır ardıcılıqlı gərginliklər dövrəsi

Hesabat cədvəl 1.1 -də göstərilmiş qiymətlər üçün aparılmışdır

$$C_{0n} = \frac{1}{2} C_g = 0.5 \cdot 0.128 \cdot 10^{-6} = 0.642 \cdot 10^{-7} F$$

$$C_{0t} = \frac{1}{2} C_g + C_{şin} + C_{aç} + C_{tr} = 0.642 \cdot 10^{-7} + 0.55 \cdot 10^{-6} = 0.614 \cdot 10^{-6} F$$

Tutum müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$X_{0n} = -j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot C_{0n}} = -j16526$$

$$X_{0t} = -j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot C_{0t}} = -j1728$$

Burada: $f_3 = 150$ Hz – üçüncü harmonikanın tezliyidir.

Bu tənlikləri həll etdikdən sonra neytralin ucundakı tam müqavimət hesablanır.

$$z_{0n} = \frac{-jX_{0n} \cdot 3 \cdot R_n}{3R_n - jX_{0n}} = 3469.18 - j763.48$$

Yüksüz işləmə rejimində generatorun hasil etdiyi üçüncü harmonika gərginliyi 210V-dur, neytral tərəfindəki üçüncü harmonika gərginliyi isə aşağıdakı kimi təyin olunur.

$$V_{0n} = V_0 \frac{z_{0n}}{z_{0n} - jX_{0t}} = 210 \frac{3469.18 - j763.48}{3469.18 - j763.48 - j1728} = 174.65 \text{ V}$$

generatorun çıxışında isə:

$$V_{0t} = V_0 \frac{X_{0t}}{z_{0n} - jX_{0t}} = 210 \frac{-j1728}{3469.18 - j763.48 - j1728} = 84.96 \text{ V}$$

Generatorun maksimum (tam yük) və minimum (az yük) rejimlərində üçüncü harmonikanın hesabı yuxarıda göstərilmiş ardıcılıqla aparılır. Hesabatın nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir.

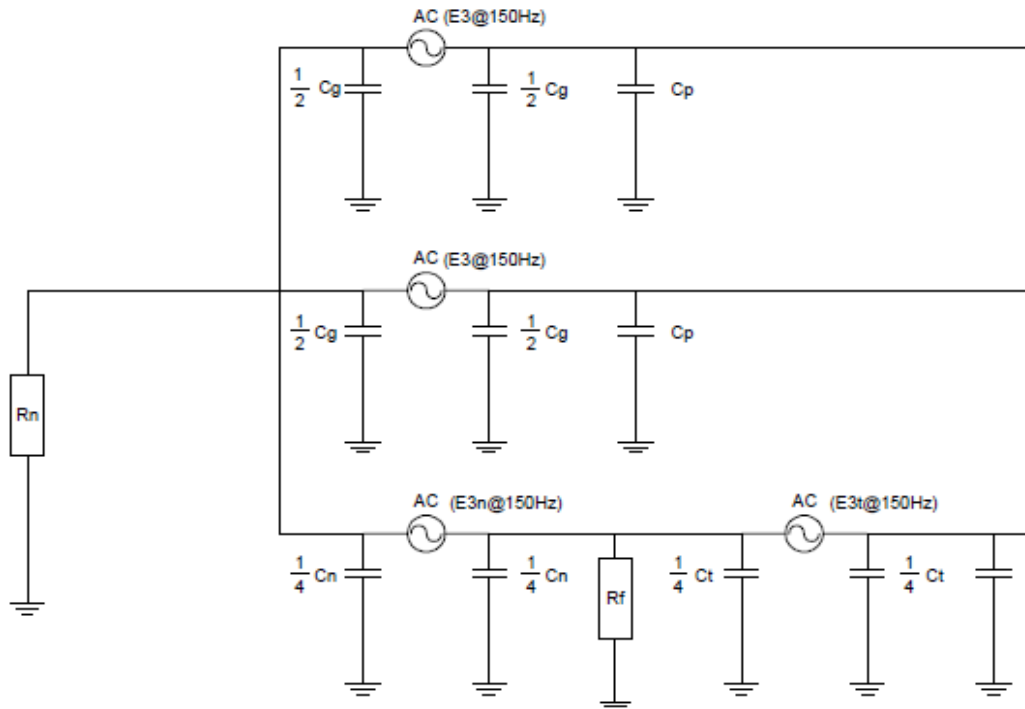
Cədvəl 3

Müxtəlif yük rejimlərində üçüncü harmonika gərginliklərin qiymətləri

Yük rejimi	V_0 (V)	V_{0n} (V)	V_{0t} (V)
Tam yük	420	349	169
Az yüklənmiş	121	100	49
Yüksüz işləmə	210	174	84

Qapanma baş verdiyi hal üçün aşağıdakı fərziyyələr qəbul olunur.

Üçüncü harmonika gərginlikləri iki dəyişən gərginlik mənbəyi kimi modelləşdirilir [2,3]. Onlardan biri neytral və qapanma nöqtəsi arasında, digəri isə qapanma nöqtəsi və generator dolağının çıxışı arasındadır (şək.5).



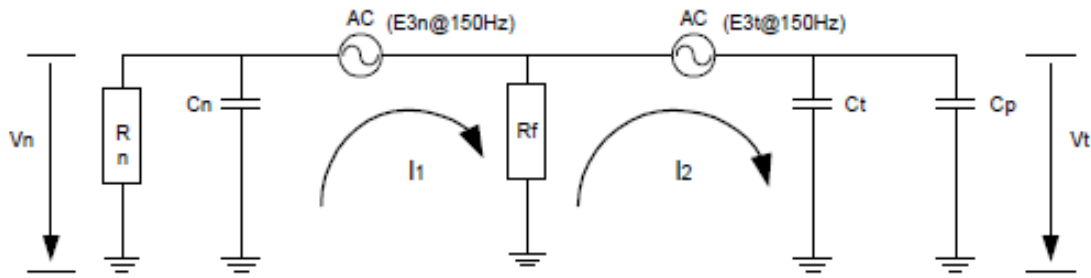
Şək.5. Qapanma rejimində ekvivalent sxem

Üçüncü harmonika gərginlikləri aşağıdakı kimi təyin olunur.

$$E_{3n} = K \cdot E_3 \quad E_{3t} = (1 - K) \cdot E_3$$

Burada: $K=0 \div 1$ – generatorun neytralından qəza yerinə qədər olan məsafə, uclarındakı tutumlar isə $C_n=K \cdot C_{\text{stator}}$; $C_t=(1-K) \cdot C_{\text{stator}}$.

Bir fazanın yerlə qapanma halına baxaq (şək.6).



Şək.6. Qapanma halı üçün əvəzetmə sxemi

Göstərilmiş ekvivalent dövrə üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

$$\begin{aligned} V_n + E_{3n} &= I_1 - I_2 R_f \\ V_t &= I_1 - I_2 R_f + E_{3t} \end{aligned}$$

Burada R_f – qapanma müqavimətidir

$$\begin{aligned} I_1 &= -\frac{V_n}{Z_n} \\ Z_n &= \frac{R_n}{C_n} \end{aligned}$$

Neytral tərəfində üçüncü harmonika gərginliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$V_n = K \cdot E_3 \cdot \left(1 - \frac{R_f}{Z_n} \right) = K \cdot E_3 \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_n - j \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot K \cdot C_{\text{generator}}}} \right)$$

Terminal tərəfində isə üçüncü harmonika gərginliyi isə:

$$V_t = 1 - K \cdot E_3 - V_n \cdot \frac{R_f}{Z_n}$$

kimi təyin olunur.

E_3 generator tərəfindən hasil olunan üçüncü harmonika gərginliyidir.

Göründüyü kimi, üçüncü harmonika gərginlikləri qapanmanın baş vermə yerindən (K) və faza dövrəsinin müqavimətindən (R_f) asılıdır.

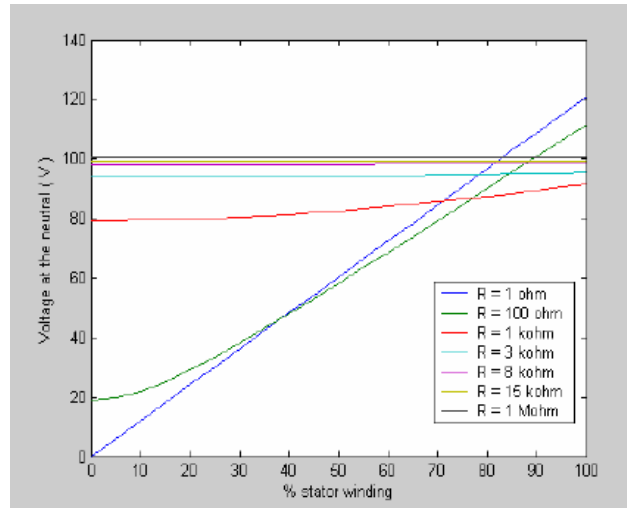
Bu asılılığın minimal və maksimal gərginlik sxemləri üçün tədqiqi MATLAB SIMULINK proqram təminatı vasitəsilə aparılmışdır.

1) Minimal gərginlik sxemi

Bu metoda əsasən, üçüncü harmonika gərginliyi generatorun neytrala yaxın tərəfində, qapanma müqavimətinin müxtəlif qiymətləri üçün təyin edilir (şək.7).

Qapanma müqaviməti artdıqca üçüncü harmonika gərginliyinin qiyməti normal iş rejimindəki qiymətlərinə yaxınlaşır. Qrafikdən göründüyü kimi, bu metod stator dolağının təxminən 83 %-ni mühafizə edir.

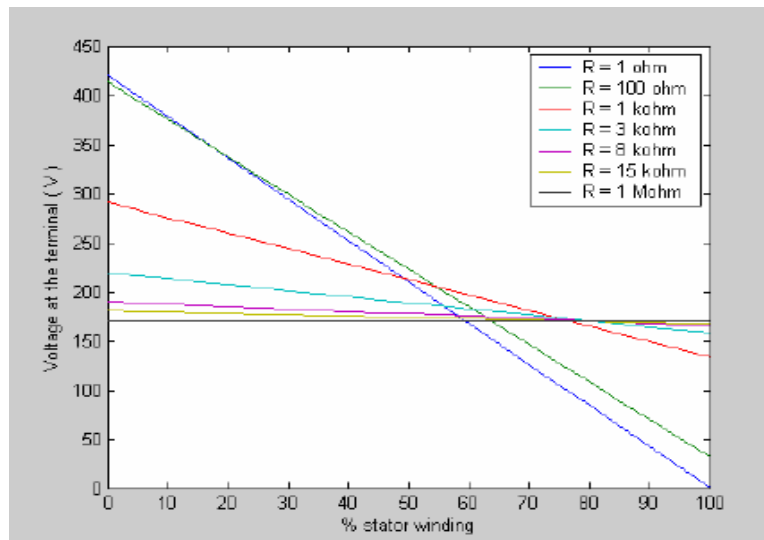
Minimal gərginlik relisinin qoyulmuş qiyməti, qəza vəziyyəti olarsa, generator tərəfindən hasil olunan minimum üçüncü harmonika gərginliyindən yuxarı, amma qəzasız halda aşağı olmalıdır. Neytralda minimum üçüncü harmonika gərginliyi 100.6 V-dur. Belə ki, yuxarı gərginlik relisi işçi gərginliyi 90-95V arasında olur.



Şək.7. Neytralda üçüncü harmonika gərginlikləri (az yüklənmə rejimində)

2) Maksimal gərginlik sxemi

Bu metoda əsasən, üçüncü harmonika gərginliyi, generatorun çıxışlarına yaxın tərəfdə qapanma müqavimətinin müxtəlif qiymətləri üçün təyin edilir (şək.8). Göründüyü kimi, terminalda üçüncü harmonika gərginliyi, qapanma müqavimətlərindən asılı olur. Müqavimət artdıqca, üçüncü harmonika gərginliyi normal iş rejimindəki qiymətinə yaxınlaşır. Qrafikdən göründüyü kimi, bu metod stator dolağının təxminən 60 % -ni mühafizə edir.



Şək.8. Generatorun çıxışlarındakı üçüncü harmonika gərginlikləri

Maksimal gərginlik relesinin işə düşmə gərginliyi, qapanma olduqda, generator tərəfindən hasil olunan maksimum üçüncü harmonika gərginliyindən aşağı, normal iş rejimində isə yuxarı olmalıdır. Generatorun çıxışında üçüncü harmonika gərginliyinin maksimum qiyməti 169 V-dur (tam yük rejimində). Deməli, maksimal gərginlik relesinin qoyuluş qiyməti bu qiymətdən yuxarı olmalıdır, lakin generator az yüklənmiş rejimdə işlədiyi zaman, üçüncü harmonika gərginliyinin qiyməti 169 V-dan kiçik olur. Yəni, tam yük olmadıqda neytrala yaxın statorun yerlə qapanmasında mühafizə sxeminin araşdırılması qeyri-mümkündür, çünki neytralda üçüncü harmonika gərginliyi 169.8 V-dan yuxarı olmur. Əgər generatorun hansı yüklə işlədiyi bilinmirsə, onda bu metodla stator dolaqlarının mühafizəsini təmin etmək mümkün deyil. Bu isə o deməkdir ki, maksimal gərginlik metodu universal deyil və yalnız konkret yük rejimi üçün tətbiq oluna bilər.

Nəticə

1. Üçüncü harmonika metodunun minimum gərginlik sxemi stator dolağının 83%-li mühafizəsini təmin edir. Bu hesaba bir çox hallarda əlavə mühafizənin tətbiqinə ehtiyac olmur.

Üçüncü harmonika metodunun maksimal gərginlik sxemi stator dolağının 60%-li mühafizəsini təmin edir. Bu da əlavə mühafizənin quraşdırılmasını tələb edir.

2. Üçüncü harmonika metodunun maksimal gərginlik sxemi universal deyil və yalnız konkret yük rejimi üçün tətbiq oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Защита от замыканий на землю обмотки статора блочных генераторов / И.М. Сирота, А.П. Шаповал, А.Е. Богаченко, Г.Н. Довбня // Электрические станции, 2009, №4. С.62-65.
2. Fulczyk, M., Bertsch, J. (2002), Ground-fault currents in unit-connected generators with different elements grounding neutral, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.17, No.1, March 2002, pp. 61-65.
3. Pope, J.W. A comparison of 100% stator ground fault protection schemes for generator stator windings, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No.4, April 2004, pp. 832-840.

THE STUDY OF THE THIRD HARMONIC VOLTAGE METHOD FOR GENERATOR'S STATOR WINDINGS PROTECTION FROM GROUND FAULTS

R.M. Abbasov, E.N. Huseynov

The paper deals with the investigation of the third harmonic voltage method particularities for generators ground faults protection. It has been proved that overvoltage protection scheme can be used only if the load mode of generator is defined. It also has been shown that under voltage protection doesn't depend upon load mode and covers approximately 83% of stator winding.

Key words: *synchronous generator, stator winding protection, ground fault, third harmonic voltage.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ ГЕНЕРАТОРА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Р.М. Аббасов, Э.Н. Гусейнов

В статье рассматриваются особенности защиты статорной обмотки генератора от замыканий на землю с помощью метода третьей гармоники напряжения. Установлено, что схема максимального напряжения может быть использована в случае, если заранее известен режим нагрузки генератора. Выявлено, что схема минимального напряжения обеспечивает защиту 83% статорной обмотки генератора и не зависит от режима нагрузки.

Ключевые слова: *синхронный генератор, защита статорной обмотки, замыкание на землю, третья гармоника напряжения.*

Rəyçi: *f.r.e.n., dos. İ.Ə. İsgəndərov*