

Copyright © 2015 by Academic Publishing House Researcher



Published in the Russian Federation
European Journal of Technology and Design
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 8, Is. 2, pp. 72-78, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.8.72

www.ejournal4.com

UDC 621.313.13

Modeling of Diagnostic System for Detectoin Torn-To-Turn Short Circuits of Rotors Windings Turbogenerator Based on the Analysis of the Signal's by Measurements Standard Transducers

Olga V. Liyasova

National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation
634034, Tomsk region, Tomsk city, Lenina avenue, 30
E-mail: vliov@mail.ru

Abstract

The new method of short-circuit of coils protection in synchronous generator's rotor winding is based on the circuit of Pot'e. The mathematical model is developed and researched, allows to determine the number of damaged coils in real time.

Keywords: turn-to-turn short-circuit, rotor winding, turbine-type generator, circuit of Pot'e, rotor's standard current.

Введение

Витковые замыкания (ВЗ) в обмотке ротора турбогенераторов (ТГ) являются распространенными [1, с.17] и в тоже время трудно поддающимися мониторингу неисправностям [2, с.5]. Трудности диагностирования ВЗ обмотки ротора в рабочих режимах генератора связаны, прежде всего, с физикой возникновения замыкания, поскольку замыкание, как правило, является не «металлическим» т.е. витки замкнуты через переходное сопротивление. Само замыкание, может носить перемежающий характер [3, с.21]. Падение напряжений между соседними витками находится на уровне 1...3 В и следовательно нет условий для возникновения электрической дуги. Влияние ВЗ на изменения токов и напряжений в роторе и статоре незначительно 1..2 %. Тем не менее, основываясь на имеющейся зависимости между магнитодвижущей силой (МДС) $F = If \cdot w$ и величинами реактивной мощности Q , разработан способ выявления ВЗ в обмотке ротора ТГ. Данный способ заключается в том, что путем использования математической модели ТГ по измеряемым текущим параметрам статора производится расчет эталонного тока ротора, который должен соответствовать определенному режиму работы ТГ. При возникновении ВЗ возникает несоответствие между расчетным и фактическим значением тока ротора. Целью данной работы является изложение материала по исследованию возможности построения системы технической диагностики по выявлению ВЗ в обмотке ротора ТГ.

Исследование способа выявления ВЗ обмотки ротора на ранней стадии развития дефекта были использованы экспериментальные данные параметров снятых с ТГ ТВВ-500-2УЗ Экибастузской ГРЭС-1.

Принцип построения способа выявления ВЗ представлен структурной блок-схемой (рис.1), которая состоит из датчиков. В первом блоке содержится обработка параметров теплового состояния генератора для n -го режима текущей нагрузки, также для этого режима в четвертом блоке производится обработка электрических параметров (S , I_c , $\cos\phi$, $\sin\phi$). Обработка исходных, дополнительно рассчитанных и обработанных данных ТГ, которые поступают из 1 и 4 блоков для расчета количества короткозамкнутых витков и эталонного тока ротора, осуществляется в пятом блоке. Состояние генератора отображается на экране монитора в шестом блоке, 7-блок индикации. Во втором блоке установлены датчики температуры, в третьем – датчики тока и напряжения.

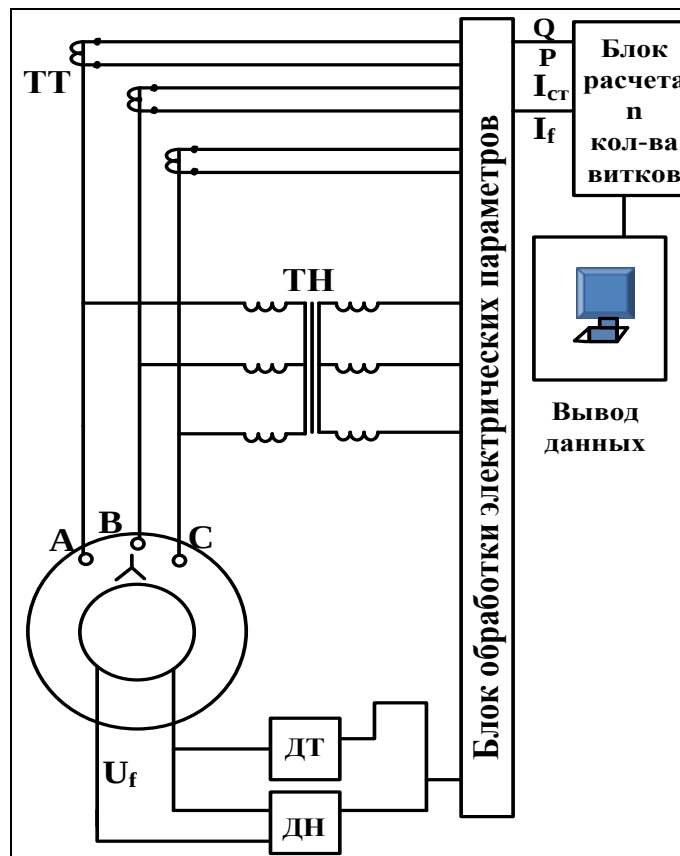


Рис. 1. Принцип построения ВЗ

Предварительно в базу данных вносят для каждого ТГ заводские номинальные данные, данные последних испытаний на нагревание, калибровочные данные индукционных датчиков тока ротора и данные расчетов тока ротора на нагрузочной характеристике возбудителя (для бесщеточной системы возбуждения): P -активная мощность, Q - реактивная мощность, U - напряжение, f - частота тока, I_{pn} - номинальный ток ротора, n - количество витков обмотки ротора, χ_{d*} - продольное переходное индуктивное сопротивление генератора, r_{15} - сопротивление обмотки ротора по постоянному току при температуре 15° , I_{fa} -расчетное значение тока реакции статора, I_{fk} - значение тока возбуждения по ХКЗ, который соответствует номинальному току статора, х.х.х.- характеристика холостого хода, х.к.з.- характеристика короткого замыкания. Далее производят расчет I_{pn} и других дополнительных параметров, которые в последующем вносят в базу данных. Снимают электрические параметры с ТГ: P -активная мощность, Q - реактивная мощность, U - напряжение статора, f - частота тока и $I_{ризм}$ - ток ротора (при наличии непосредственного измерения тока ротора, при отсутствии измеряют другими косвенными методами). В завершении рассчитывается текущий эталонный ток ротора по математической модели (рис. 2).

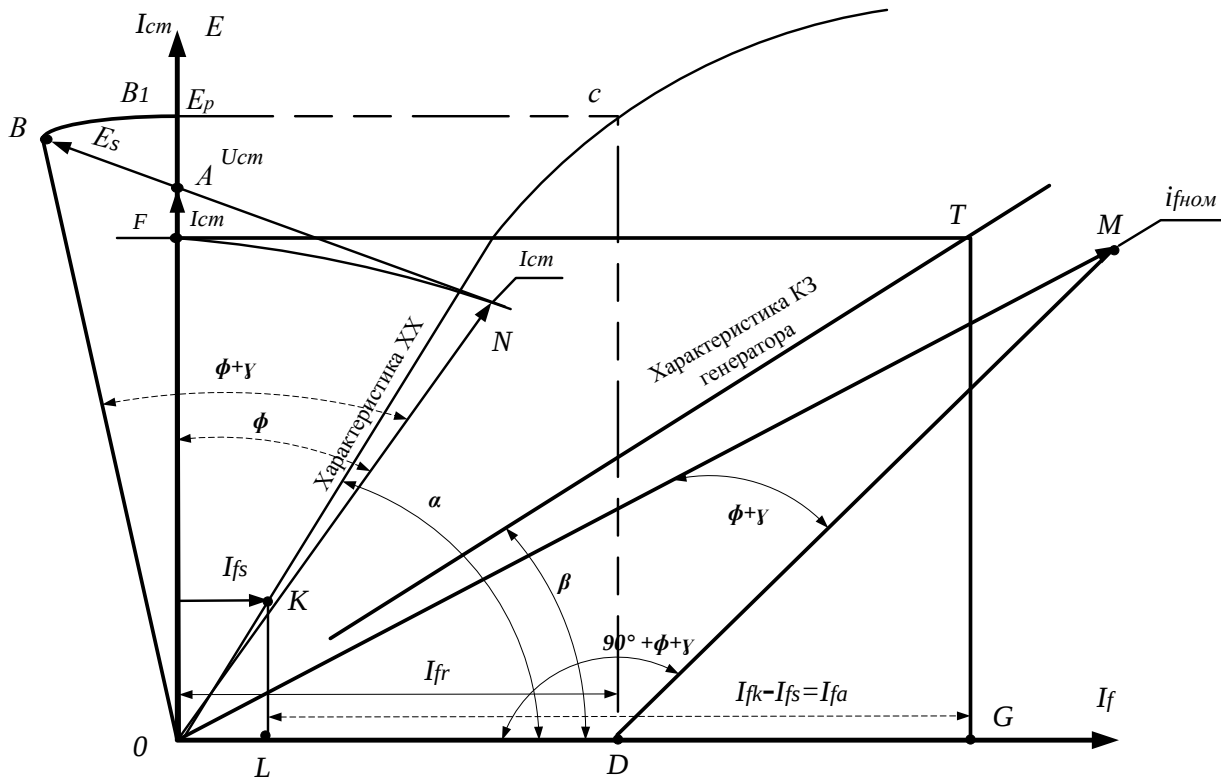


Рис. 3. Диаграмма Потье

Как пример расчета определения короткого замыкания приведем ТГ типа ТВВ-500-2УЗ Экибастузской ГРЭС-1.

1. Предварительно определяется эталонный расчетный ток ротора и коэффициенты приведения параметров статора к обмотке возбуждения ротора при номинальных параметрах статора. Номинальные данные: $P = 500$ МВт, $Q = 310$ МВАр, $U_c = 20$ кВ,

$\cos\phi = 0,85$, $f = 50$ Гц, $n = 126$ витков, $I_{fa} = 2310$ А, $I_{fk} = 2550$ А, $x_d^* = 0,355$, $I_{rn} = 3530$ А - расчетное значение номинального тока ротора.

2. Далее рассчитывается полная мощность S по формуле:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{500^2 + 300^2} = 588,303 \text{ МВА}$$

3. Вычисляется поправочный коэффициент k_f , учитывающий изменение падения напряжения на расчетном индуктивном сопротивлении рассеивания Потье x_p при отклонении текущей частоты f_T от номинальной, равной 50 Гц, по формуле:

$$k_f = \frac{f_T}{50} \quad (3)$$

$$k_f = \frac{f_T}{50} = \frac{50}{50} = 1$$

4. Рассчитывается ток статора по формуле I_c :

$$I_c = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_c} \quad (4)$$

$$I_c = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{588,303}{\sqrt{3} \cdot 20} = 17 \text{ кА}$$

5. Определяется $\sin \phi$ угла сдвига фаз между напряжением U_c и током I_c по формуле:

$$\sin \phi = (1 - \cos \phi^2)^{0,5} \quad (5)$$

$$\sin \phi = (1 - \cos \phi^2)^{0,5} = (1 - 0,85^2)^{0,5} = 0,527$$

6. Определяется x_{p*} – расчетное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря, по формуле:

$$X_{p*} = 0,81972 \cdot X_{d*} \quad (6)$$

$$X_{p*} = 0,81972 \cdot X_{d*} = 0,81972 \cdot 0,355 = 0,291$$

7. Определяется x_p в именованных единицах по формуле:

$$X_{p*} = \frac{0,81972 \cdot X_{d*} \cdot U_c}{\sqrt{3} \cdot I_c} \quad (7)$$

$$X_{p*} = \frac{0,81972 \cdot X_{d*} \cdot U_c}{\sqrt{3} \cdot I_c} = \frac{0,81972 \cdot 0,355 \cdot 20}{\sqrt{3} \cdot 17} = 0,19766 \text{ Ом},$$

8. Определяется ΔU_{xp} падение напряжения на x_p по формуле:

$$\Delta U_{xp} = \sqrt{3} \cdot X_p \cdot I_c \cdot k_f \quad (8)$$

$$\Delta U_{xp} = \sqrt{3} \cdot X_p \cdot I_c \cdot k_f = \sqrt{3} \cdot 0,19766 \cdot 17 \cdot 1 = 5,82 \text{ кВ}$$

9. Определяется по исходным данным составляющая тока возбуждения I_{fsh} , индуктирующая электродвижущую силу ЭДС рассеивания, пропорциональная и равная падению напряжения ΔU_{xp} на индуктивном сопротивлении Потье:

$$I_{fsh} = I_{fk} - I_{fa} \quad (9)$$

$$I_{fsh} = I_{fk} - I_{fa} = 2550 - 2310 = 240 \text{ А}$$

10. Определяется по начальной прямолинейной части ХХХ (поясняющая диаграмма Потье рис. 3) коэффициент k_s - приведения намагничивающей силы рассеивания или тока рассеяния статора к обмотке возбуждения и соответствующий току ротора I_{fsh} для создания падения напряжения ΔU_{xp} , в режиме короткого замыкания при токе статора, равном номинальному току I_{ch} по формуле:

$$k_s = \frac{\sqrt{3} \cdot X_p \cdot I_{ch}}{I_{fsh}} \quad (10)$$

$$k_s = \frac{\sqrt{3} \cdot X_p \cdot I_{ch}}{I_{fsh}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,19766 \cdot 17}{0,240} = 24,25 \frac{\text{кВ}}{\text{кА}}$$

11. Определяется по ХКЗ (рис. 3) коэффициент k_β - приведения полной

намагничивающей силы или номинального тока статора к обмотке возбуждения в режиме короткого замыкания по формуле:

$$k_\beta = \frac{I_{ch}}{I_{fk}} \quad (11)$$

$$k_\beta = \frac{I_{ch}}{I_{fk}} = \frac{17}{2,55} = 6,6666$$

12. Определяют по XXX и ХКЗ (рис.3) коэффициент k_a - приведения намагничивающей силы или тока реакции статора к обмотке возбуждения в режиме короткого замыкания по формуле:

$$k_a = \frac{k_s - \sqrt{3} \cdot X_p \cdot k_\beta}{k_s \cdot k_\beta} \quad (12)$$

$$k_a = \frac{k_s - \sqrt{3} \cdot X_p \cdot k_\beta}{k_s \cdot k_\beta} = \frac{24,25 - \sqrt{3} \cdot 0,19766 \cdot 6,6666}{24,25 \cdot 6,6666} = 0,1359$$

13. Определяется результирующая электродвижущая сила ЭДС E_p по векторной диаграмме напряжений генератора (рис.3) и по формуле:

$$E_p = \sqrt{(\Delta U_{Xp} + U_c \cdot \sin \varphi)^2 + (U_c \cdot \cos \varphi)^2} \quad (13)$$

$$E_p = \sqrt{(\Delta U_{Xp} + U_c \cdot \sin \varphi)^2 + (U_c \cdot \cos \varphi)^2} = \sqrt{(5,82 + 20 \cdot 0,5268)^2 + (20 \cdot 0,85)^2} = 23,59 \text{ кВ}$$

14. Определяется $\sin(\gamma + \phi)$ - угла между векторами E_p и I_c по формуле:

$$\sin(\gamma + \phi) = \frac{\Delta U_{Xp} + U_c \cdot \sin \varphi}{E_p} \quad (14)$$

$$\sin(\gamma + \phi) = \frac{\Delta U_{Xp} + U_c \cdot \sin \varphi}{E_p} = \frac{5,8 + 20 \cdot 0,5268}{23,59} = 0,693$$

15. Определяется $\cos(\gamma + \phi + 90^\circ)$ - угла между составляющими тока ротора по совмещенной диаграмме напряжений и диаграмме намагничивающих сил генератора (по диаграмме Потье рис. 3) по формуле:

$$\cos(\gamma + \phi + 90^\circ) = -\sin(\gamma + \phi) = -0,693 \quad (15)$$

16. После этого производится экстраполяция XXX ТГ зависимости $I_f = f(U)$ для получения полинома:

$$I_{fr} = a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2 + \dots + a_n \cdot U^n \quad (16)$$

где $a_0 - a_n$ - коэффициенты полинома.

В режиме холостого хода $E=U$ и ток ротора I_{frj} для j -го режима определяется по соответствующей этому току, результирующей ЭДС E_{pj} . Подставив в (16) полученные при экстраполяции XXX коэффициенты полинома, уравнение полинома для конкретного генератора принимает вид:

$$I_{frj} = -623567,89 + 183460 \cdot E_{pj} - 22434,1 \cdot E_{pj}^2 + \\ + 1460,4 \cdot E_{pj}^3 - 53,346 \cdot E_{pj}^4 + 1,0363 \cdot E_{pj}^5 - 0,0083576 \cdot E_{pj}^6$$

17. Определяется ток возбуждения I_{frn} , по соответствующей этому току результирующей ЭДС $E_p=23,59$ для номинального режима:

$$I_{frn} = -623567,89 + 183460 \cdot 23,59 - 22434,1 \cdot 23,59^2 + \\ + 1460,4 \cdot 23,59^3 - 53,346 \cdot 23,59^4 + 1,0363 \cdot 23,59^5 - 0,0083576 \cdot 23,59^6 = 1,511 \text{ кА}$$

18. Определяется расчетный номинальный ток ротора I_{fn} по диаграмме намагничивающих сил генератора рис.3 по формуле:

$$I_{fn} = \sqrt{I_{fa}^2 + I_{fp}^2 + 2 \cdot I_{fa} \cdot I_{fp} \cdot \sin(\gamma + \phi)} \quad (17)$$

$$I_{fn} = \sqrt{I_{fa}^2 + I_{fp}^2 + 2 \cdot I_{fa} \cdot I_{fp} \cdot \sin(\gamma + \varphi)} = \sqrt{2,31^2 + 1,511^2 + 2 \cdot 2,31 \cdot 1,511 \cdot 0,693} = 3,530 \text{ кА}$$

Полученные дополнительные расчетные данные k_s , k_a , полиномы с рассчитанными коэффициентами имеют для каждого конкретного генератора вполне определенные значения и вносятся в базу данных блока 5 устройства. Аналогично рассчитываются параметры и для остальных типов ТГ. Далее с помощью устройства рис.1 рассчитывается эталонный ток ротора в режимах, различных от номинального режима.

Предложенный способ отличается простотой, дает однозначные выводы о наличии витковых замыканий в роторе, не требует дополнительного изменения конструкции ТГ, установки дополнительных измерительных приборов.

Примечания:

1. Самородов Ю.Н. Турбогенераторы. Аварии и инциденты. М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. 488 с.
2. Глебов И.А., Данилевич Я.Б. Диагностика турбогенераторов. Л.: Наука, 1989. 119 с.
3. Алексеев А.Е., Костенко М.П. Турбогенераторы. М., 1939. 341 с.
4. Jackson R.J., Roberts I.A., Thurston R.C., Worsfold J.H. Generator rotor monitoring in the United Kingdom // CIGRE. 1986. Report 11-04, 8 r.

References:

1. Samorodov Yu.N. Turbogenerator. Avarii i intsidenty. M.: ELEKS-KM, 2008. 488 s.
2. Glebov I.A., Danilevich Ya.B. Diagnostika turbogeneratorov. L.: Nauka, 1989. 119 s.
3. Alekseev A.E., Kostenko M.P. Turbogenerator. M.: Gosenergoizdat, 1939. 341 s.
4. Jackson R.J., Roberts I.A., Thurston R.C., Worsfold J.H. Generator rotor monitoring in the United Kingdom // CIGRE. 1986. Report 11-04, 8 r.

УДК 621.313.13

Моделирование систем диагностики виткового замыкания обмотки ротора турбогенератора на основе анализа сигналов от штатных средств измерения

Ольга Владимировна Лиясова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Российская Федерация
634034, Томская область, г. Томск, проспект Ленина, 30
E-mail: vliov@mail.ru

Аннотация. Предложен новый способ защиты от виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора на основе диаграммы Потье. Разработана и исследована математическая модель, позволяющая определять количество поврежденных витков в реальном времени.

Ключевые слова: витковое замыкание, обмотка ротора, турбогенератор, диаграмма Потье, эталонный ток ротора.