

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ SỐ SÓNG HÀI BẬC 3, CHẾ TẠO RELAY BẢO VỆ CHẠM ĐẤT MÁY PHÁT ĐIỆN TRONG VÙNG CÔNG SUẤT THẤP

Nguyễn Giới

Công ty Thủy điện Trị An, Vĩnh An, Vĩnh Cửu, Đồng Nai

Email: gioi_ngyn@yahoo.com

Đến Toà soạn: 7/12/2012; Chấp nhận đăng: 11/3/2014

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu khoa học về lĩnh vực bảo vệ cuộn dây stator của máy phát điện. Sản phẩm của nghiên cứu là chế tạo một rơ-le, nó đã được sử dụng trong hệ thống bảo vệ máy phát điện.

Nguyên tắc làm việc của rơ-le này dựa trên mô hình phân bố sóng hài bậc 3 trong cuộn dây stator của máy phát điện đồng bộ ba pha cực lõi. Từ đây, chúng tôi xây dựng công thức toán học để mô tả quá trình vật lý xảy ra trong cuộn dây máy phát điện của điện áp sóng hài bậc 3 và gọi là “Phương trình Đặc tuyến”(WCE).

Có rất nhiều phương pháp bảo vệ chạm đất cuộn dây stator máy phát điện có trung tính nối đất qua cuộn kháng tổng trở cao dựa trên WCE; phù hợp với chuẩn ANSI 27/59NT 3rd harmonic, thông qua các bộ lọc điện áp sóng hài bậc 3 lấy từ các biến điện áp lắp đặt ở trung tính và đầu cực của máy phát điện.

Trong những phương pháp này, lượng điện áp sóng hài bậc 3 có ảnh hưởng của công suất thực có thể được loại bỏ nhờ WCE. Sức điện động của sóng hài bậc 3 được phân bố đều trên đơn vị chiều dài cuộn dây máy phát, bởi vì chúng nhận những lượng từ thông như nhau khi cường độ từ trường bậc 3 giống nhau quét qua. Khi tính toán, chúng tôi nhận thấy rằng tổng sức điện động sóng hài bậc 3 (e_{3rd}) trên cuộn dây stator máy phát là bằng zero. Trên cơ sở đó, khi có xuất hiện điểm chạm đất trong cuộn dây thì tỉ lệ điện áp sóng hài bậc 3 ở hai đầu cuộn dây phản ánh đúng tỉ lệ chiều dài từ điểm sự cố đến hai đầu cuộn dây.

Thực tế, từ nguyên tắc trên chúng tôi đã chế tạo một thiết bị mới với mục đích bảo vệ 100% cuộn dây stator máy phát ở các chế độ công suất (-40 MVA, 110 MVA), trên cơ sở có tham khảo thiết bị của Siemens và Nga. Chúng tôi đã vận hành thiết bị này tại Công ty Thủy điện Trị An từ tháng 10 năm 2012.

Từ khóa: phương trình đặc tuyến (WCE), chuẩn bảo vệ ANSI 27/59NT 3rd harmonic, sơ đồ vận hành hệ thống (BCO), hệ phụ thuộc hàm cơ sở (BDF), mặt cách điện (IWF), hệ công thức cơ sở (SBF).

1. TỔNG QUAN

Từ khi đưa vào vận hành, máy phát tại Công ti Thủy điện Trị An được trang bị hệ thống bảo vệ khối do Liên Xô sản xuất từ những năm 1970 - 1980 (trong đó có bảo vệ chống chạm đất cuộn dây máy phát kí hiệu theo tiếng Nga là 33 -1, sau đây gọi tắt là bảo vệ cũ). Bảo vệ cũ sử dụng công nghệ bán dẫn dựa trên các transistor và các vi mạch điện tử so sánh hai cổng, lắp đặt trên các bản mạch in. Việc đảm bảo hoạt động tin cậy cho bảo vệ này đòi hỏi một quy trình hiệu chỉnh và thay thế linh kiện nghiêm ngặt. Sau năm 2000 nguồn cung cấp các linh kiện ngày càng hạn chế, một số linh kiện không được tiếp tục sản xuất nữa. Thực tế này dẫn đến hệ thống bảo vệ cũ không còn đáp ứng các yêu cầu vận hành, gây sự cố giả nhiều lần. Trong những năm 2007 – 2009 Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) đã cho phép Công ti Thủy điện Trị An đầu tư thay thế hệ thống bảo vệ máy phát mới sử dụng rơ-le kĩ thuật số 7UM62 của hãng Siemens.

Rơ-le 7UM62 là thiết bị bảo vệ hợp bộ máy phát, trong đó chức năng bảo vệ chống chạm đất 100 % cuộn dây stator được thực hiện trên cơ sở xử lí sóng hài bậc 3. Tuy nhiên, chức năng này được chế tạo để hoạt động trong dải công suất 10 % đến 100 % công suất danh định. Trong tài liệu hướng dẫn vận hành rơ-le nhà sản xuất khuyến cáo sử dụng chức năng này khi công suất phát từ 40 % công suất danh định trở lên. Như vậy đối với máy phát Trị An (100 MW) chức năng bảo vệ chống chạm đất 100 % cuộn dây stator trong rơ-le 7UM62 chỉ hoạt động khi tổ máy phát hữu công từ 40 MW trở lên, trong khi tổ máy Trị An phải thường xuyên chạy bù vô công (phát hữu công 0 MW) theo yêu cầu điều độ.

Để có thể đảm bảo chức năng bảo vệ chống chạm đất 100 % cuộn dây stator hoạt động trong mọi dải công suất hữu công, nhà chế tạo khuyến cáo sử dụng giải pháp phát cường bức sóng hài tần số 20 Hz vào máy phát qua biến điện áp công suất 3 kVA ÷ 45 kVA. Tuy nhiên biến điện áp đang lắp đặt cho tổ máy Trị An là loại 100 VA nên nếu triển khai giải pháp này sẽ phải đầu tư mua sắm *biến điện* áp cho 4 tổ máy. Mặt khác, giải pháp sử dụng *biến điện* áp sẽ làm tăng mức dòng ngắn mạch trong thời gian xảy ra chạm đất, làm suy giảm tuổi thọ thiết bị ngay cả khi hệ thống bảo vệ có thể loại bỏ sự cố theo thời gian chính định.

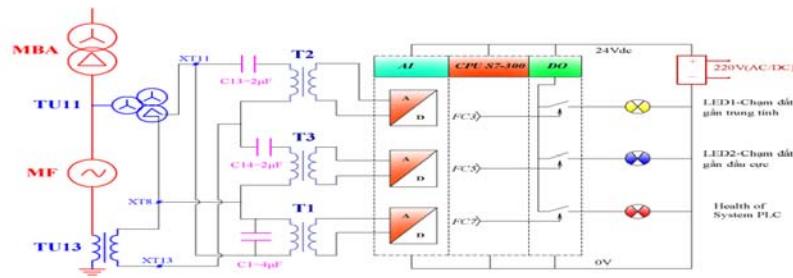
Tình trạng này sẽ dẫn đến nguy cơ mất an toàn trong quá trình vận hành các tổ máy thủy điện Trị An, đòi hỏi phải có các giải pháp kĩ thuật bổ sung.

Công ti Thủy điện Trị An đã thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học, với mã số: ***TD-SX-TD-12-001*** nhằm đề xuất giải pháp khai thác các nguyên lí bảo vệ 100 % cuộn dây stator máy phát của bảo vệ cũ (vốn được thiết kế đồng bộ với hệ thống turbine-máy phát) và rơ-le 7UM62, kết hợp xử lí sóng hài bậc 3 từ đó chế tạo một relay số, lắp đặt thành công tại Công ti .

2. NỘI DUNG

2.1. Lí thuyết

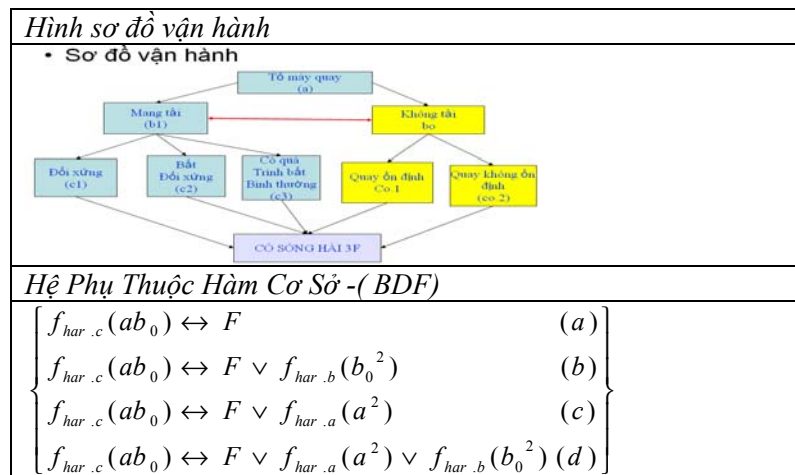
Chúng tôi thực hiện nghiên cứu xử lí số cho sóng hài bậc 3 (hình 1) [1]. Trong đó, khối lọc sóng hài bậc 1 và 3 đảm bảo cách ly về điện theo tiêu chuẩn IEC 255-1000 và thực hiện bằng mạch lọc L-C-R qua các tụ điện áp cao C1, C13, C14, T1, T3, T4; tín hiệu thu được sẽ chuyển đổi qua dạng số qua các khối A/D, sau đó sẽ được tính toán xử lí song song thực hiện đồng thời các quá trình bảo vệ thấp áp theo chuẩn *ANSI 27* và chuẩn *ANSI 59NT 3rd harmonic*.



Hình 1. Sơ đồ xử lý số cho sóng hài bậc 3.

Ngoài ra, để nghiên cứu nguyên nhân hình thành sóng hài chúng tôi đi từ Sơ đồ Vận hành Cơ bản (Base Target Chart of System Operation-BCO). Trong sơ đồ này mọi chế độ vận hành của máy phát đều được đề cập. Từ đó, suy ra các yếu tố chung nhất của các chế độ, mục đích là nếu có sóng hài bậc 3 (3^{rd} harmonic) xuất hiện ở điều kiện cơ sở này thì sẽ xuất hiện ở mọi chế độ (hình 2).

Từ sơ đồ vận hành cơ bản, chúng tôi đề xuất mô hình toán và biểu diễn thông qua Hệ Phụ Thuộc Hàm Cơ Sở -(Basic Depended Function-BDF).



Hình 2. Sơ đồ vận hành và hệ phụ thuộc hàm.

Với F là đại lượng đặc trưng cho dòng từ thông cơ sở để thiết lập trường từ cho không gian máy phát, tập trung nhất ở khe hở không khí giữa rotor và stator;

- a là toán tử thể hiện khả năng biến từ thông F thành thế năng U của dòng điện mà ta hay gọi là $Q(VA)$;

- b_0 là đại lượng đặc trưng cho dòng môi chất nước, nơi đó tích năng lượng ở độ cao, và xả năng lượng vào cánh turbine bằng chính động năng của mình, chi phối bởi trường hấp dẫn và nó ảnh hưởng tỉ lệ với công suất thực $P(W)$;

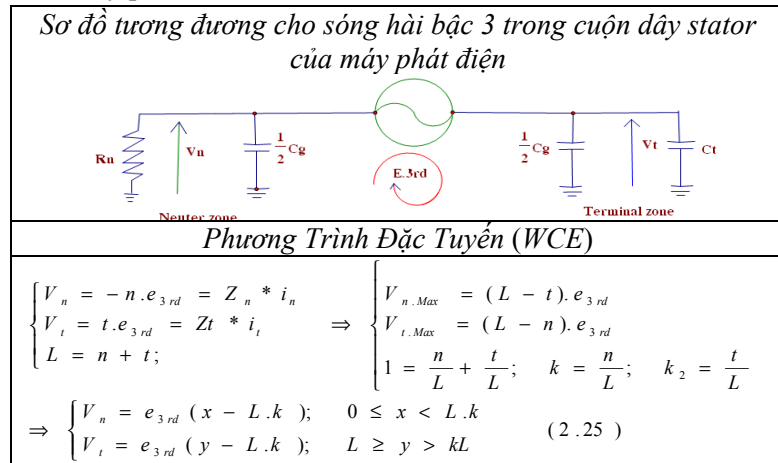
- $f_{har.c}(ab_0)$ hàm sóng hài sinh ra trong quá trình vận hành máy phát;

- $f_{har.b}(b_0^2)$ hàm đặc trưng cho ảnh hưởng công suất thực lên sóng hài bậc ba;

- $f_{har.a}(a^2)$ hàm đặc trưng cho ảnh hưởng công suất kháng lên sóng hài bậc ba;

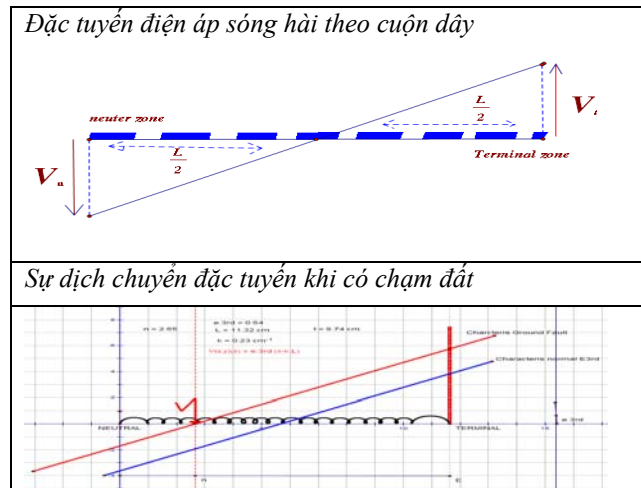
Từ BDF(a) chúng tôi nhận thấy rằng các dạng sóng hài dù có năng lượng điện thấp cũng sinh từ trường từ lực F và nếu là sóng chạy thì chắc chắn phải có sự tham gia của dòng từ rotor mà *biến đặc trưng* là b_0 kết hợp các tham khảo và lí thuyết máy điện về các sóng hài [1] chúng tôi có sơ đồ tương đương về sóng hài bậc 3 (hình 3).

Điều quan trọng là khi triển khai sóng chạy của sức từ động F trong khe hở không khí chúng tôi dẫn xuất được tổng các điện áp sóng hài $E_{3rd} = 0$. Với kết quả này chúng tôi suy dẫn được *Phương Trình Đặc Tuyến (Winding Characteristic Equation WCE)* của sóng hài bậc 3 trải dài theo cuộn dây stator máy phát



Hình 3. Sơ đồ tương đương và phương trình đặc tính của điện áp sóng hài bậc 3.

Trong đó e_{3rd} là điện áp sóng hài bậc 3 trên từng đơn vị chiều dài cuộn dây stator máy phát. Từ WCE có thể vẽ được đồ thị phân bố biên độ điện áp theo chiều dài cuộn dây như sau (hình 4).



Hình 4. Sự phân bố sóng hài bậc 3 trong cuộn dây stator máy phát.

Nhờ các kết quả thu được từ BDF và WCE hình thành lí luận cơ sở cho các nghiên cứu chế tạo hợp bộ Bảo Vệ Relay. Và định hướng các thử nghiệm sau đó cũng như lí giải các hiện tượng vật lí xung quanh 3^{rd} harmonic [3, 4]. Rõ ràng là với BDF(a) cho ta thấy rằng tổ máy quay có

kích thích là có F và có ngay điện áp sóng hài U_{3f} theo đúng dạng của WCE, giải thích sự thay đổi biên độ nhờ BDF(b), BDF(c), BDF(d). Nghĩa là khi thay đổi công suất thực P đại lượng $f_{har.b}(b_0^2)$ tham gia vào độ lớn U_{3f} ; Tương tự khi thay đổi Q đại lượng $f_{har.b}(a^2)$ tham gia vào độ lớn U_{3f} .

2.2. Hình thành sản phẩm

Với kì vọng là một nghiên cứu ứng dụng sản phẩm là tiếng nói cuối cùng, nó phải thể hiện trung thực sự nghiên cứu lí thuyết. Trong thực tế, sự tồn tại U_{3f} lại xen lẫn với U_{nf} và các loại nhiễu. Khi phân hoạch được U_{3f} thì phải đối diện với sự dịch pha và méo dạng tín hiệu. Do đó bất cứ thiết bị nào cũng xây dựng cho mình hàm toán học tương ứng xét đến các hiệu ứng vật lí càng sát với thực tế càng tốt. Mặt khác kết quả của công nghệ sau nếu muốn có giá trị phải kế thừa các tinh hoa của dòng thiết bị tương tự. Với ý tưởng này chúng tôi học hỏi nghiên cứu các thiết bị của các nhà sản xuất lớn như Siemens, Nga . Từ đó, chúng tôi đề xuất Hệ Công Thức Cơ Sở- System Basic Formula (SBF):

$$\begin{cases} I_1(s) = \frac{C_1 \cdot s}{1 + r_1 s + L_1 s^2} (E_{13} - E_{11}) \\ I_3(s) = \frac{C_3 \cdot s}{1 + r_3 s + L_3 s^2} (-E_{13}) \\ E_{11}(t) = E_1 \sin(\omega t + \alpha); E_{13}(t) = E_n \sin(\omega t + \beta) \\ I_p(t) = \frac{E_t}{E_n} - K_s \sin(\omega t) - K_s \cdot v^2 \cdot e^{-\omega t}; \quad K_s = \frac{(E_{11}(0) - E_{13}(0))}{E_n \omega}; \end{cases}$$

Chúng tôi lựa chọn công thức $I_p(t)$ làm công thức cho bảo vệ của mình vì các ưu điểm đã trình bày trong tài liệu [2], và tóm tắt ở bảng so sánh (bảng 1). Việc thiết kế thi công đã được tính toán từ chọn thiết bị, thử nghiệm từng phần, thử nghiệm tổng hợp, thử nghiệm thực tế đã chứng tỏ khả năng làm việc của Hợp bộ như ý muốn (hình 5).

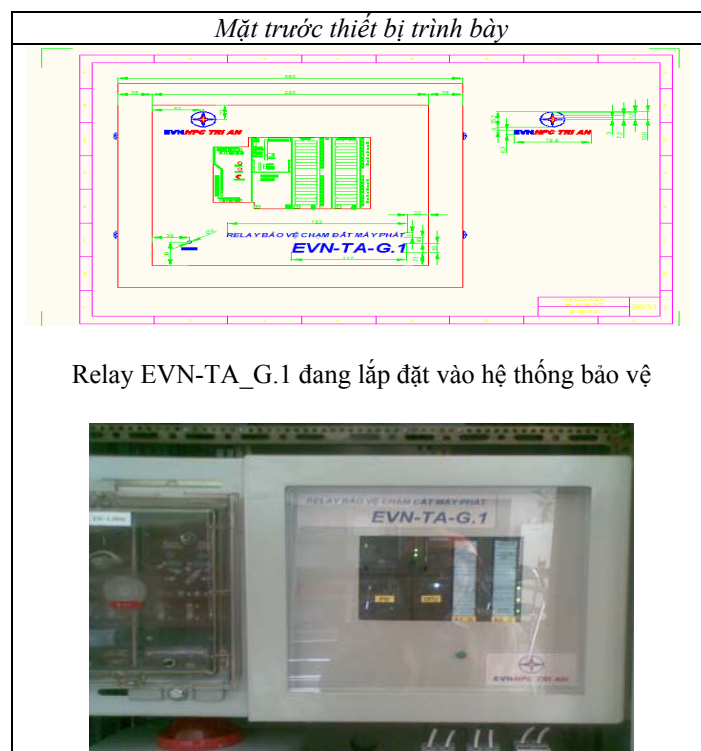
Cuối cùng, chúng tôi trình bày bảng tóm tắt các Hợp bộ bảo vệ trong đó có Hợp bộ bảo vệ của chúng tôi (Được tạm đặt tên là *EVN-TA-G.1*)

Bảng 1. Bảng so sánh các tính năng của các relay.

TT	Nội dung so sánh	7UM62X	33Γ	EVN-TA_G.1
1	Nước sản xuất	Siemens (Đức)	Liên Xô (cũ)	
2	Năm sản xuất đầu tiên	Thập niên 80	Thập niên 80	Năm 2012
3	Nền tảng công nghệ hiện nay	<i>Vi xử lí</i>	Điện tử	<i>Vi xử lí</i>
4	Bộ lọc cơ sở	R-L-C	R-L-C	R-L-C
5	Công thức bảo vệ	$U_{3H.corr} = U_{3H} - U_{corr}(100\% - P_{means})$	$ E_{11} - E_{13} K = 2 \frac{ E_{13Max} - E_{11Max} }{E_{13Max}}$	$I_p(t) = \frac{ I_1(t) }{ I_3(t) } = \frac{ E_{11} - E_{13} }{E_{13}}$
6	Ảnh hưởng trực tiếp nhiều công suất	Có	<i>Không</i>	<i>Không</i>

7	Giới hạn công suất	P_{means} $\in [40\%P_n, 100\%P_n]$	Không	Không
8	Bảo vệ được điểm giữa cuộn dây	Được	Được	Được
9	Phương pháp hiệu chỉnh	HMI	Bằng tay	HMI

Khác biệt cơ bản của các Bảo vệ Relay trên là ở chỗ *công thức bảo vệ* và có thể tóm tắt như sau: Relay Siemens [2]: Giá trị áp rời khỏi đặc tuyến; Relay 33Γ [5]: So lệch điện áp giữa trung tính và đầu cực máy phát; Relay EVN-TA_G.1: So lệch điểm zero của đặc tuyến điện áp.



Hình 5. Sản phẩm relay EVN-TA-G.1.

3. KẾT LUẬN

Từ lý thuyết cơ bản về trường từ của máy điện, phân tích chúng thành dạng sóng chạy và sóng dừng đập mạch trên các pha, cho thấy sóng hài bậc 3 là sóng chạy trong các bồi dây dù bố trí khác nhau. Tính chất đồng nhất của sóng chạy làm cho mỗi đơn vị chiều dài của dây dẫn hứng chịu sức điện động e_{3f} như nhau dưới tác động quay của rotor. Về mặt tính toán chúng tôi cũng suy dẫn được sóng hài 3^{rd} harmonic có tổng bằng 0 trên toàn bộ cuộn dây và kết quả là chúng tôi đề xuất Phương Trình Đặc Tuyến *WCE*. Trong thực tế cũng cho thấy 3^{rd} harmonic không vượt qua máy phát để vào mạng truyền tải điện.

Để chọn công thức bảo vệ cho hợp bộ của mình trên cơ sở kế thừa chúng tôi chọn hướng phát hiện sai lệch điểm zero của đặc tuyến, từ đó chúng tôi xây dựng *Hệ Công Thức Cơ Sở SBF*. Niềm tin đặt vào *SBF* nằm ở chỗ nó phản ánh tự nhiên quá trình vật lý của hiện tượng hơn là chúng ta xây dựng trên *sự sai lệch các dạng điện áp* tuy dễ trong thực thi, nhưng là kết quả suy diễn quá dài từ thực tế mà các bảo vệ cùng chức năng sử dụng.

Sự ảnh hưởng của P, Q trên các mức điện áp của U3f cũng được xét đến trong *Hệ Phụ Thuộc Hàm Cơ Sở BDF*. Tuy nhiên, nhờ chọn phương án *bảo vệ dịch chuyển đặc tuyến* nên không có ảnh hưởng đến chức năng làm việc của thiết bị chúng tôi.

Ý nghĩa quan trọng nhất của công trình là:

(i) Đã đưa ra một cách *bảo vệ khác* dựa trên các ưu điểm của các bảo vệ truyền thống với dự tính độ tin cậy ít nhất bằng các bảo vệ cũ.

(ii) Đã chế tạo *Hợp bộ Bảo vệ Rơ le* có thể thay thế được các bảo vệ cũ trong bài toán chống chạm đất ở vùng công suất thấp.

Tuy nhiên để có thể hoàn chỉnh vấn đề nghiên cứu sẽ cần:

(a) Phát triển phần mềm ứng dụng và tối ưu hoá thuật toán và (b) Phát triển lý thuyết *Mặt Cách Điện- Insulate Winding Face-(IWF)* để chế tạo các bộ bảo vệ relay mới và quy trình xử lý cách điện cuộn dây máy phát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Giới - Nghiên cứu xử lý số sóng hài bậc 3, ứng dụng bảo vệ chạm đất máy phát điện trong vùng công suất thấp, Báo cáo khoa học đề tài TĐ-SX-TĐ-12-001, EVN, 2012, tr. 19-94.
2. SIPROTEC - Multifunctional Machine Protection 7UM62 V4.6; Manual C53000-G1176-C149-5, 2007, pp. 226-232.
3. Abdullah M. F., Hamid N. H., et al. - The study of Triplen Harmonics Currents Produced by Salient Pole Synchronous Generator, Electrical and Electronic Engineering Department, University Teeknologi PETTROAS, Malaysia 2011.
4. XôxTenKô M. P. và Piôtrovxky L. M. - Máy điện III, Vũ Gia Hanh dịch, NXB GD Hà Nội, 1965, tr. 94-101.
5. Hoàng Hữu Thận - Tính toán ngắn mạch và Chính định bảo vệ rơ le, trên hệ thống điện, NXB KHKT 2003.

ABSTRACT

ANALOG TO DIGITAL TREATMENT OF THE THIRD HARMONIC WAVE VOLTAGE AND MAKING A RELAY TO PROTECT THE STATOR WINDING OF GENERATOR AT LOW LOAD ZONE

Nguyen Gioi

Tri An Hydropower Company, Dong Nai province

*Email: gioi_ngyn@yahoo.com

The article presents a research on protection of the stator winding of electric generator, which resulted in fabrication of a relay, that has been applied successfully into protection relay system.

The principle of relay work relies upon distribution model of the third harmonic of voltage in the winding of three phase salient pole rotor alternating-current synchronous generator. On the base of that, we put forward mathematical formula to describe the physical process appeared in winding of the generator by the third harmonic of voltage. They have been called Winding Characteristic Equation (WCE).

There exist different methods based on WCE to protect the stator winding in the case of ground faults in high resistance grounded synchronous generator. Using third harmonic of voltage to protect winding with standard ANSI 27/59NT 3rd harm by filter harmonic wave voltage, which have been measured at terminal and neutral.

In the method, if there is a change of the output third harmonic voltage when real power is changed, then the SBF and WCE function can eliminate this change due to the subtraction third harmonic voltage of neutral transformers with terminals transformers. It can be inferred, the third harmonic electromotive force (e_{3rd}) per unit length of the coil is equal, because harmonic flux through them is the same scan

On the other hand, according to our calculations, sum of e_{3rd} on the stator winding equal zero. Based of that, quotient of the third harmonic voltage at terminal and neutral exactly reflects the ratio of the area on the stator winding and the stator winding length, where occurs ground fault position. For this reason, we have proposed a protection formula, which it is non-dimensional.

In reality, with above principle, we have made a new equipment which is aimed to obtain a 100 % protection of the stator winding in the case of ground faults on every power range [-40 MVA; 110 MVA] of the generator operation. The components of the equipment have origin of Siemens and Russian. And it has fitted up at the Tri An Company, since October, 2012.

Keywords: Winding Characteristic Equation (WCE), standard ANSI 27/59NT 3rd harm), Base Target Chart of System Operation (BCO), Basic depended Fuction(BDF), Insulate Winding Face (IWF), System Basic Formula (SBF).