

MASSNAHMEN ZUR REDUZIERUNG VON SCHWINGUNGEN IN GENERATOREN

К.В. Мельнов, Е.К. Прохорец, А.Н. Гаврилин

Wissenschaftlicher Leiter: Dr. E.K. Prokhorets

Wissenschaftliche Sprachbetreuerin: Dr. E.K. Prokhorets

Polytechnische Universität Tomsk, Russland, Tomsk, Lenin-Str., 30, 634050

E-Mail: kvm11@tpu.ru**МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ВИБРАЦИИ В ГЕНЕРАТОРАХ**

К.В. Мельнов, А.Н. Гаврилин, Е.К. Прохорец

Научный руководитель: к.п.н., доцент Е.К. Прохорец

Руководитель-лингвист: к.п.н., доцент Е.К. Прохорец

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 63-40-50

E-mail: kvm11@tpu.ru

Аннотация: Данная статья посвящена изучению динамических процессов происходящих в технологической системе. Основным вредным динамическим процессом является вибрация. Вибрация негативно сказывается на работе машин и механизмов, приводя к преждевременному выходу из строя технологического оборудования. В данной статье будет рассмотрено влияние вибрации на генераторы, определены условия возникновения и методы снижения.

Dynamische Systeme finden zahlreiche Anwendungen nicht nur in der Technik, sondern auch in Physik, Chemie, Biologie, Medizin und in den Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften. Dynamische Prozesse sind: die Schwingungen, Oberflächenrauigkeit, die Verringerung der Lebensdauer von Anlagen und Komponenten. Der wichtigste negative dynamische Prozess ist Schwingung. Es gibt viele Verfahren zur Reduzierung von Vibrationen. Für komplizierte dynamische Systeme ist es jedoch nicht immer einfach, um ein stabiles Verhalten zu etablieren.

Für die Analyse von dynamischen Prozessen in dynamischen Systemen, einschließlich die Schwingung in den Generatoren, werden praktische und theoretische Studien durchgeführt. So ist nach den Ergebnissen der Studie von Doktor der Ingenieurwissenschaften Günter Ebi, die stärkste Anregung des Gehäuses rührt von den Schwingungen des Blechpakets her. Sie haben ihren Ursprung in den radialen Komponenten der magnetischen Induktion im Luftspalt. Bei zentrischer Rotorlage und symmetrischer Wicklung sind die Radialspannungen an diametral gegenüberliegenden Orten des Luftspalts entgegengesetzt gleich groß und greifen an der Oberfläche der Statorbohrung und des Rotors. In der Kräftebilanz an den Generatorfußpunkten heben sich die aus den Radialspannungen resultierenden Kräfte auf, d.h. sie werden nicht auf das Fundament übertragen. Hingegen erfährt das Blechpaket eine periodische Wechselverformung, die sich auf das Gehäuse überträgt und damit Ursache für Gehäuseschwingungen ist. Die maximalen Auslenkungen an der Statorbohrung erreichen bei größeren Maschinen Werte von 10 µm und mehr. Dagegen ist die Verformung am Rotor aufgrund der viel höheren Steifigkeit des Rotorballens vernachlässigbar klein und ohne Bedeutung auf das Schwingungsverhalten des Generators [1].

Die Folge ist eine mit doppelter Netzfrequenz umlaufende Verformung des Blechpakets. Diese Anregung lässt sich weder durch konstruktive Maßnahmen noch durch sehr sorgfältige Bearbeitung verhindern und sie ist vor allem dafür verantwortlich, dass das Gehäuse schwingt, sobald der Generator arbeitet [1].

Neben der Grundwelle verursachen auch die Oberwellen des Luftspaltfeldes Radialkraftwellen mit entsprechend höheren Periodizität. Diese können wiederum über die Verformung des Blechpakets das Gehäuse zu Schwingungen anregen. Als anregende Frequenzen kommen bei synchron drehendem Rotor grundsätzlich alle ganzzahligen Vielfachen der Netzfrequenz in Frage.

Auf der Grundlage den Oben genannten kann gesagt werden die den Turbogenerator beeinflussende Schwingung hat höhere harmonischen Kraftwellen. Sie entstehen als Ergebnis von Induktionsoberwellen der Rotorwicklung mit den Induktionsoberwellen der Statorwicklung. Dabei können sich resultierende Kraftwellen sowohl in als auch entgegengesetzt zur Drehrichtung fortbewegen. Die Richtung wird durch das Vorzeichen der Ordnungszahl festgelegt.

Nach der Meinung von H. Markus, K. Senske außer den magnetischen Kräften können auch Fliehkräfte, hervorgerufen durch Unwuchten, das Gehäuse anregen. Dieser Fall tritt bei Schildlagermaschinen auf. Die von der Rotorunwucht herrührenden Fliehkräfte werden über Lager und Lagerschild in das Gehäuse eingeleitet [2].

Weiter, Unwuchtschwingungen müssen vielmehr durch geeignete Verbesserungen am Rotor oder am Strang therapiert werden, z.B. Ausrichtung, Wuchten, etc. Das bedeutet für den Diagnose-Ingenieur vor Ort, dass er doppelt drehfrequente Unwuchtschwingungen bei den 2-poligen Generatoren eindeutig identifizieren und von elektromagnetisch angeregten Gehäuseschwingungen unterscheiden muss. Dies kann beispielsweise durch Messung der frequenzabhängigen Schwingungsformen geschehen, aus denen Rückschlüsse auf die anregenden Kräfte gezogen werden können [2].

Hier kann man eine zwischen Schlussfolgerung ziehen: Gelingt es nicht, die elektromagnetischen Kraftwellen konstruktiv zu beherrschen, können hohe Schwingungen entstehen, die auch äußerlich als Gehäuselärm deutlich wahrnehmbar werden. Die Folgen sind vorzeitiger Verschleiß und erhöhter Lebensdauerverbrauch von Blechpaket und Wicklung, sowie in den schlimmsten Fällen Ermüdungsrisse in Schweißnähten sowie spontanes Versagen durch Ständerkurzschlüsse und Eisenbrand.

Ein hohen Schwingungen ausgesetztes Blechpaket unterliegt der Gefahr von Lockerungen in Blechpaket, Blechpaketaufhängung und Wicklung. Unter dem Einfluss starker Schwingungen können sich fertigungsbedingte Unebenheiten zwischen benachbarten Blechen ausgleichen. Obwohl die damit verbundenen Dickenänderungen nur im Tausendstel Millimeter Bereich liegen, kann die Gesamtverkürzung des Blechpakets aufgrund der Schichtung vieler Tausend Einzelbleche einige Millimeter erreichen. Bei nachlassender Verspannung steigt die Bewegungsfreiheit der Bleche und es kann zum Abrieb der Isolationsschicht führen. Als Folge davon bilden sich Warmstellen, die sich ausbreiten und die Isolation der Wicklung schädigen können [1].

In Blechpaketen mit elektrisch isolierter Aufhängung in den Schichtbalken können erhöhte Schwingungen zum Abrieb der Isolation führen. Lockerungen der Blechpaketaufhängung bedingen ein weiteres Ansteigen der Schwingungen und eine Beschleunigung des Isolationsabriebs. Kommt es zu metallischem Kontakt zwischen Schichtbalken und Blechpaket, fließen hohe Ausgleichsströme in den Schichtbalken, die an den Übergängen zum Blech oder zur Pressplatte zu Heißstellen und zu metallischen Abschmelzungen führen können [3].

Die Schwingungen des Blechpakets übertragen sich auch auf die Wicklung, da die Stäbe sehr fest an die Nut angebunden sind. Auch hier können Lockerungen der Stäbe und damit Relativbewegungen zwischen Stab und Blech ausgelöst werden. Die Folge sind Abrieb des Glimmschutzes und Funkenerosion der Stabisolation. Weitere Auswirkungen erhöhter Statorschwingungen können Überbeanspruchungen der Stäbe am Nutaustritt mit

Ermüdungsrissobildungen in der Stabisolation oder die Bildung von Reibstellen in den Wickelkopfabstützungen mit Lockerungen des Wickelkopfverbandes als Folge sein [1].

Dieser Auszug ist dem Artikel von Autor Dr. Ing. Günter Ebi entnommen. Um den Risiken eines vorzeitigen Verschleißes von Blechpaket und Wicklung vorzubeugen, stellt sich die Frage nach betrieblich zulässigen Werten für die Schwingungsamplitude. Das internationale Normenwerk liefert für Grenzwerte der Blechpaket- oder Gehäuseschwingungen, die durch elektromagnetische Kräfte verursacht werden, keine konkreten Angaben. In der Literatur werden als akzeptable Blechpaketschwingungen folgende Amplitudenwerte angegeben [1]:

Große Turbogeneratoren: 20 μm

Hydrogeneratoren: 18 μm

Schädliche Vibrationen treten immer in Zusammenhang mit Resonanz- beziehungsweise resonanznahen Zuständen auf. Dies gilt insbesondere für die $2f_1$ Grundwelle mit der 4-Knotenform, deren Amplitude mit bis zu 0,2 MPa die stärkste Anregung erzeugt. Gehäuse, deren 4-Knoten-Biegeeigenform unterhalb von $2f_1$ liegt, nennt man starre Gehäuse, liegt sie darüber, handelt es sich um elastische Gehäuse [5].

Der Verdacht auf resonanznahe Schwingungen im Betrieb kann mit Hilfe von Modalanalysen durch Anschlagversuche am Gehäuse außen einfach und ohne Demontage des Generators untersucht werden. Parallel zur Messung können FE-Modelle erstellt und anschließend mit Hilfe der Messungen validiert werden. Diese zeitgleich durchgeführten Berechnungen und Messungen erlauben sehr schnell eine genaue Identifizierung der Ursachen und, was noch wichtiger ist, die rasche Entwicklung von Lösungsvarianten zur Schwingungsreduzierung. Das validierte Rechenmodell bietet den großen Vorteil, diejenige Variante zu ermitteln, die mit minimalem Nachrüstaufwand das kleinstmögliche Schwingungsniveau ergibt. Dieses Verfahren führt mit geringstmöglichem finanziellem und zeitlichem Aufwand methodisch sicher zur technisch-wirtschaftlichsten Lösung [5].

Es sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen Aus physikalischen Gründen müssen Generatorgehäuse schwingen. Die physikalischen Kenngrößen - die Frequenzen, die Amplituden, die Phasenlage - sind jedoch beeinflussbar. Die durchgeführten Forschungen lassen zu, dass die Schwingungen negativ die Arbeit des Generators beeinflusst, da der Grund ihres Entstehens bestimmt ist. Es ist deshalb schon immer eine Aufgabe der Entwicklungsingenieure gewesen, die Schwingungen durch geschickt gewählte konstruktive Maßnahmen in tolerierbaren Grenzen einzufangen.

Zum Schluss sei es betont, dass dieser Artikel sehr bedeutsam für die obige Studie ist, und wird uns bei der Untersuchung helfen, ihnen den Einfluss der Schwingung in die Metallbearbeitung zu reduzieren.

LITERATURHINWEISE

1. "Maßnahmen zur Reduzierung von Gehäuseschwingungen bei Generatoren": Dr.-Ing. Günter Ebi, Sensoplan AG, Hohentengen
2. H. von Markus, K. Senske: "Engineering of Generators for Large-Capacity Steam Power Plants", Siemens Power Journal.
3. DIN ISO 10816 „Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messung an nicht rotierenden Teilen“, Teil 1 bis 6
4. VibroSystM Inc., Canada: Hydrogenerator Mechanical Tolerances', 1999, www.vibrosystem.com
5. Bass, Kostyantyn: „Automatisierung der Messbereichsanpassung einer hochdynamischen Abgasmessanlage in Verbindung mit der Modellierung von HCKonzentrationen“, Universität Kassel, Diplomarbeit, 2009