

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ЧАСТИЧНИ РАЗРЯДИ НА ДВИГАТЕЛИ СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ

Панайот Иванов Янков¹, Красимир Маринов Иванов¹

¹Технически университет – Габрово

MEASUREMENTS OF THE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGES OF MEDIUM VOLTAGE MOTORS

Panayot Ivanov Yankov¹, Krasimir Marinov Ivanov¹

¹Technical University of Gabrovo

Abstract

The paper in brief describes various methods for measuring of partial discharges in insulating structures of medium voltage electric motors for the needs of their diagnostics. Measurements of the parameters of partial discharges of medium voltage electric motors manufactured during the period from 1976 to 1988 have been carried out.

Keywords: partial discharges, medium voltage, electric motor

ВЪВЕДЕНИЕ

Непланираните спирания на електрическите двигатели оказват значителен икономически ефект върху работните процеси в технологичните линии. Затова целта е да се осигури информация за точното им техническо състояние. Техниките, които позволяват диагностика посредством контрол в експлоатационни условия могат да бъдат използвани за оптимизиране на поддръжката, с цел постигане на надеждност при работа в продължителен режим [1]. За тази цел през последните години са създадени различни тестове и методи за изпитване, които могат да бъдат с и без изключване на електрическото захранване. Изпитване без изключване или мониторинг може да се прави за продължително време през периода на експлоатация и благодарение на това предлага възможността да се запишат различни зависимости, определящи живота на изолацията. Автоматичното изследване на тези данни позволява ранно откриване на предстояща повреда. Изследване на параметрите на частични разряди (ЧР) е един от тези методи [3]. Тези изследвания се правят

най-често при профилактичен ремонт или при установяване на първични индикации за повреда.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В зависимост от физическите причини и зони на възникване, ЧР в изолационните системи на електрическите машини са разделени на външни и вътрешни.

Вътрешните ЧР възникват в места с понижена електрическа якост, така наречените "включвания", локално разположени в обема на изолацията. Те могат да бъдат мехурчета и разширени кухини, пълнени с газ и в по-малка степен чужди твърди метални и неметални включвания (прах, метални шаблони) шипове на вътрешни проводящи екрани. Появата на източници на вътрешни ЧР се дължи на технологични нарушения, както и на дефектиране на изолационния материал в процеса на работа [4]. В зависимост от видовете включвания механизмът на възникване на вътрешни ЧР в тях има своите разлики, но във всички случаи се наблюдават определени закономерности. Ча-

стични разряди във включването се наблюдават при следните условия:

- локалният интензитет на електрическото поле във включването трябва да надвишава диелектричната якост на газовия слой за съответните размери за включване;
- във включването трябва да има поне един електрон, който да предизвика физически механизъм на пробив в газовия слой;
- геометричните размери на включването трябва да бъдат достатъчни за осъществяване на механизъм за лавинен пробив [5].

Вътрешните ЧР представляват значителна опасност за електрическите изолации, направени на основата на термопластични органични диелектрици, като кабели с хартиено-маслена и полимерна изолация, маслени импрегнирани трансформатори и др. За разлика от това, терморезистивната слюда, съдържаща се в изолацията на т.нар. високоволтови електрически машини, може да функционира нормално през целия гаранционен експлоатационен срок в присъствието на доста интензивни вътрешни ЧР. Трябва да се отбележи, че максималният привиден заряд на вътрешния ЧР в такава изолация може да достигне стойности от порядъка на 10^2 - 10^3 nC (Nano-Coulomb, нано-Кулон). В същото време не се наблюдава рязко влошаване на ресурсите, поради специфичните свойства на съвременната терморезистивна изолация, съдържаща в състава си слюда – материал, характеризиращ се с максимална устойчивост на въздействието от ЧР [3]. Въпреки това, при определени условия, особено при продължително стареене в присъствието на газове включвания в голяма степен, интензивността на вътрешните ЧР може драстично да се увеличи, което води до прогресивно влошаване на изолацията на електрическите машини, т.е. се случва електрическо стареене, което в крайна сметка води до пълен пробив (изолацията е нарушена). Това се дължи на факта, че в корпуса на изолацията на съвременните електрически машини има неравномерност на електрическото поле, която се отчита с коефициент $K_{нер}$.:

$$K_{нер} = \frac{E_{макс}}{E_{ср}} \quad (1)$$

където: $E_{ср}$ е средният интензитет на електрическото поле, равен на съотношението на работното напрежение U_K към дебелината на корпусната изолация d ;

$E_{макс}$ – максимален интензитет на електрическото поле в изолацията на корпуса в краищата на ядрото на статора с радиус r , изчислен по израза:

$$E_{макс} = \frac{U}{d} \sqrt[3]{1.8^d / r + 1} \quad (2)$$

По този начин намаляването на радиуса на проводника води до увеличаване на интензитета на електрическото поле. В допълнение, поради технологични затруднения по време на навиване, в челата на намотките (завои и напуквания на ленти, съдържащи слюда, разслояване и въздушни пори) се формират изолационни дефекти, които са източници на интензивен вътрешен ЧР.

В резултат на това в тази област, при работно напрежение, има голяма вероятност да възникнат процеси, водещи до ЧР. На места с локално усилване на интензитета на електрическото поле е възможна появата и на външни, и на вътрешни ЧР. За разлика от вътрешните ЧР, разпределителните зони на тези ЧР не се намират вътре в изолацията на електрическа машина, а извън нея (в страничната и предната закрепваща област на намотката). Външните ЧР в изолационната система на високоволтовите електрически машини се характеризират с висока интензивност, привидният им заряд може да достигне стойности от 10^5 nC, а в крайни случаи дори и по-високи. По този начин външните части на изолацията на намотката, особено в челните области, са подложени на сериозно разграждане [1].

В зависимост от целите и класификацията на изпитванията, измерването на ЧР в изолационната система на статорната намотка може да се извършва както при нормална работа на електрически машини, без да се извежда от експлоатация, така и по време на извеждане от експлоатация, например при тестови изпитания по време на ремонтни работи [5]. Тестовите в тези два режима имат значителни разлики. В режим с извеждане от експлоатация, статори с ди-

станционни ротори или статорни намотки се подлагат на изпитване посредством преносими високоволтови инсталации с честота 50/60 Hz. Измерването на ЧР в изолацията на напълно монтирана статорна намотка се извършва индивидуално в изолацията на всяка фаза, а другите две фази са свързани към земята. В този режим може да се правят измервания при липса на външни и вътрешни смущения, създадени от работата на самата електрическа машина [4]. Трябва обаче да се има предвид, че при измерванията в режим на извеждане от експлоатация системата за изолиране на ядрото се подлага само на електрически ефекти, за разлика от режим, без да се извежда от експлоатация, където има въздействие на много фактори, включително допълнителни топлинни и механични натоварвания [8].

Използването на режима при извеждане от експлоатация обаче позволява някои измервания, които не могат да се извършват в режим, без да се извежда от експлоатация, напр. експериментално определяне на стойностите на напрежението на възникване и изчезване на ЧР. Освен това е възможно да се измери зависимостта на интегралните характеристики на ЧР от тестовото напрежение, което може да бъде полезно при определяне на степента на стареене на изолацията, особено ако същите зависимости са измерени в момента на пускане в действие на електрическата машина. Независимо от използвания режим на измерване, се записват сигнали (електрически, електромагнитни, акустични, оптични и др.), които се появяват по време на ЧР [7]. На тази база методите за измерване на ЧР са разделени на два основни типа – електрически и неелектрически. Тези измервания се регулират в съответствие със съответните международни стандарти. Електрическите методи имат сравнително висока чувствителност, така че сега те са широко използвани. В зависимост от записаните сигнали, те са разделени на електромагнитни и електрически методи. Електромагнитните методи включват регистрирането на ЧР с помощта на антени за външна или вътрешна работа.

Електромагнитните записващи устройства са проектирани да работят в диапазона на дължина на вълната в микрометри. В то-

зи случай се използват стационарни електромагнитни датчици (антени), монтирани в статорните отвори. Тези сензори са линейни тясночестотни антени, работещи в честотния диапазон от 10 MHz до 1000 MHz.

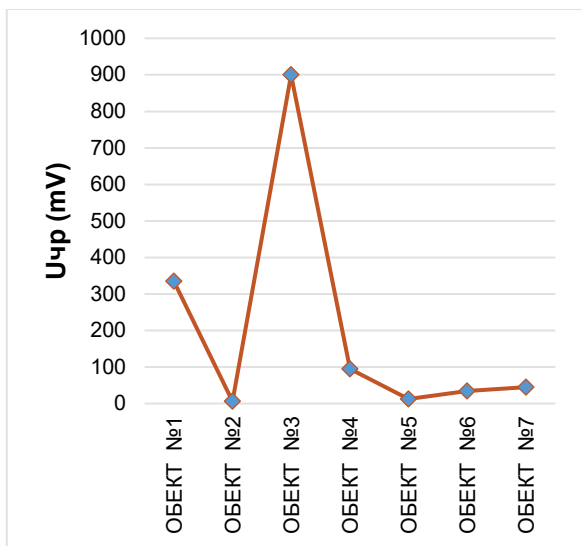
За измерване на ЧР в работен режим електрическите машини използват и външни сензори, които са радиоантени, работещи в честотния диапазон от 200 kHz до 20 MHz. Сензорът представлява бобина с феритна сърцевина, която е свързана с осцилоскоп с помощта на коаксиален кабел.

Сензорът сканира външната повърхност на изолацията, когато тестовото напрежение надвиши размера на напрежението, над което възникват ЧР. За тази цел сензорите са монтирани на диелектрични пръти, по време на движението на които, по дължината на каналите на статора, са фиксирани места с повишен интензитет на ЧР [6]. Такъв измервателен метод позволява точно да се определи районът на поява на ЧР. Електрическите методи се основават на регистрирането на високочестотни трептения в измервателната верига по време на работа. Тези измервателни схеми са намерили най-широко приложение, т.к. позволяват надеждно измерване на основните характеристики на ЧР и осигуряване на висока чувствителност. При регистриране на ЧР в отделни намотъчни елементи и монтирани статорни намотки на електрически машини, съгласно стандарта IEC60270 Техники за изпитване на високо напрежение - измервания на частични разряди [2], се използват измервателни вериги с включване на измервателен импеданс Z_{mi} в земния клон на свързващия кондензатор (капацитивен датчик) C_k .

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

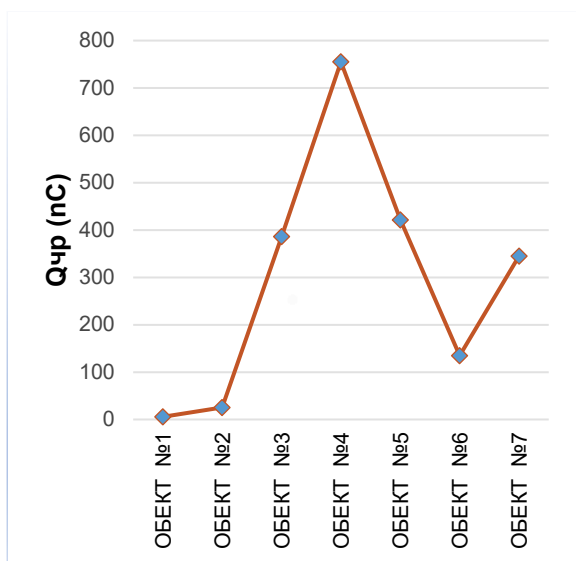
Измерванията са извършени с помощта на уред за измерване на параметри на ЧР R400 на фирмата Dimrus в продължение на 20 минути на обект. В този уред е използван електрически метод за определяне на параметрите на частичните разряди по време на работа на оборудването. Изследваните електрически двигатели са с номинално захранващо напрежение $U_n=6$ kV и мощност $P_n=500-2500$ kW. Електрическите двигатели на обекти 1, 3, 4, 5 и 7 са синхронни,

а на обекти 2 и 6 – асинхронни, произведени между 1976 и 1989 г. Обектите задвижват различни механизми като помпи, различни видове мелници, гумено-транспортни ленти и др. Използваният сензор е високочестотен токов трансформатор, поставен във веригите на заземяване.

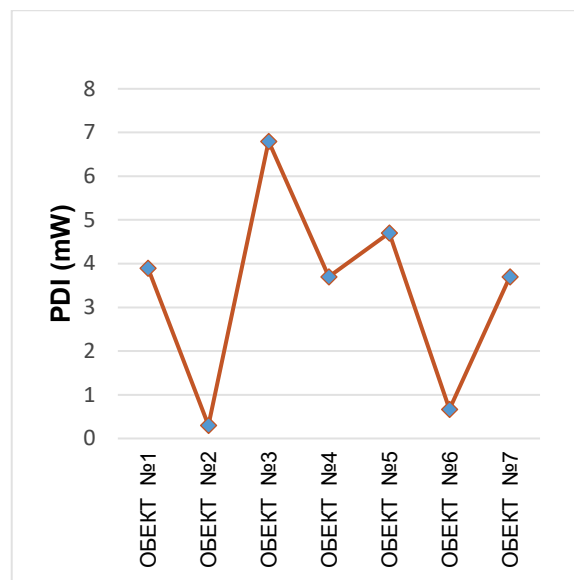


Фиг. 1. Графика на $U_{чр}$ (mV) на изследваните обекти..

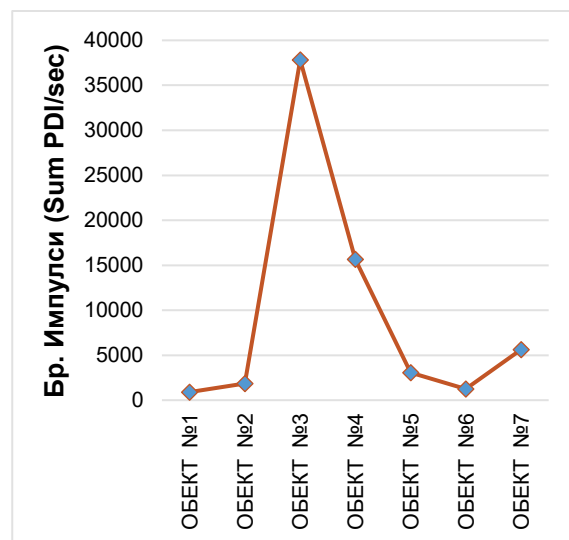
Уредът позволява измерване на частични разряди в диапазона 0.5 MHz - 10 MHz. В момента на измерване товарът на електродвигателите е между 70 % - 80 % от номиналния. Температурата на околната среда е 20° C.



Фиг. 2. Графика на $Q_{чр}$ (nC) на изследваните обекти.



Фиг. 3. Графика на PDI (mW) на изследваните обекти.



Фиг. 4. Графика на броя импулси (Sum PDI / sec) на изследваните обекти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От резултатите на измерените параметри на ЧР се вижда, че изолацията на намотките на изследваните обекти към момента на измерванията е все още в добро техническо състояние и няма опасност за тяхната работа.

По-нататъшните периодични измервания биха довели до ранно откриване на дефекти в електрическите двигатели, породени от лошо състояние на изолацията на намотките, клемните кутии, прекъсвания на кабелите и извеждането им от експлоатация. Това ще позволи планиране на ремонт преди на-

стъпване на повреда и свързаното с това аварийно спиране на технологичната линия.

REFERENCE

[1] Cliff Walton, Ross Mackinlay. PD Monitoring – A Critical Tool for Condition-Based Assessments.// Transmission&Distribution World. – December 2003. - pp.38-46.

[2] IEEE Std 1434-2000 "Trial Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery".

[3] РД ЭО-0187-00 «Методические рекомендации по диагностике изоляции статорных обмоток вращающихся машин классов напряжения 3.15-24 кV по характеристикам частичных разрядов» для атомных станций РФ // RD EO-0187-00 Metodicheskie rekomendacii po diagnostike isolyacii vrashtayustihsy mashin klasov napryazhenii 3.15-24 kV po harakteristikam chastichnih razryadov dlya atomnih stanciy RF.

[4] РД ЭО-0188-00 «Методические рекомендации по диагностике электрических аппаратов и оборудования распределительных устройств электростанций и подстанций» для атомных станций РФ // RD EO-0188-00 Metodicheskie rekomendacii po diagnostike elektricheskikh aparatov i oborudovaniya

raspredelitelnih ustroystv elektrostanciy i podstanciy dlya atomnih stanciy RF.

[5] Aksenov Y., Golubev A., Davidenko N., A. Romanov, V. Churtin, A. Ignatushin. On-Line & Off-Line Diagnostics for Power Station HV Equipment.// EIC/EMCW'99. – Cincinnati Ohio, USA, 1999, October 26-28.

[6] Радченко В.В., Горских А.П., Кошель А.Г., Аксенов Ю.П., Голубев А.В., Мухортов А.В., Родионов В.А. Диагностика изоляции статорных обмоток высоковольтных двигателей нефтеперекачивающих станций на рабочем напряжении, Трубопроводный транспорт. – 1999, №3 // Radchenko V.V., Gorskih A.P., Koschel A.G., Aksenov Yu.P., Golubev A.V., Muhortov A.V., Rodionov V.A. Diagnostika isolyacii statornih obmotok visokovoltnih dvigateley nefteperekachivayushtih stanciy na rabochem napreshenii, Truboprovodniy transport - 1999, Nr.3.

[7] Gankova-Ivanova, Zw., Wirtschaftliche Herausforderungen der Digitalisierung der Energetik, 30 Years FDIBA, Proceedings of the 9th FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 26-27 November, 2020, s. 51-54.

[8] Gankova-Ivanova, Zw., Erneuerbare Energiequellen und Beschäftigung, Technologies and Education for a Smart World, Proceedings of the 8th FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 30 November, 2020, s. 1-3.