

УДК 621.315.6
О-345

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В. Н. Васюков*
профессор *Ю. В. Целебровский*

Овсянников А. Г.

О-345 Частичные разряды и диагностирование оборудования высокого напряжения : монография / А. Г. Овсянников. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 256 с. – (Монографии НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4907-3

Использование характеристик частичных разрядов обеспечивает обнаружение дефектов изоляции в ранней стадии их развития, а в сочетании с другими методами диагностирования резко увеличивает точность оценки состояния оборудования. Рассмотрены вопросы регистрации частичных разрядов всеми возможными методами: электрическим, электромагнитным, оптическим, акустическим и химическим. Показаны достоинства и недостатки методов, предпочтительность их применения к отдельным видам оборудования.

Подробно изложены современные методы компьютерной обработки результатов измерений, подавления внешних и перекрестных помех, классификации частичных разрядов, идентификации вида дефекта и определения места его возникновения в изоляционной конструкции оборудования.

Приведены практические примеры использования методов регистрации частичных разрядов в условиях эксплуатации для своевременного обнаружения дефектов и предупреждения аварийных отказов оборудования.

Монография может представлять интерес для магистров и аспирантов электроэнергетических специальностей, производителей высоковольтного оборудования и диагностической аппаратуры, эксплуатационно-ремонтного персонала энергетических предприятий и специализированных диагностических организаций.

УДК 621.315.6

DOI 10.17212/978-5-7782-4907-3
ISBN 978-5-7782-4907-3

© Овсянников А. Г., 2023
© Новосибирский государственный
технический университет, 2023

УДК 621.315.6
O-345

Reviewers:

Professor *V. N. Vasyukov*, D.Sc, (Eng.)

Professor *Yu. V. Tselebrovsky*

Ovsyannikov A.G.

O-345 Partial discharges and diagnostics of high-voltage equipment: monograph /
A. G. Ovsyannikov. – Novosibirsk : NSTU Publisher, 2023. – 256 p. – (NSTU Mo-
nographs)

ISBN 978-5-7782-4907-3

The use of partial discharge characteristics ensures the detection of insulation defects at an early stage of their development, and in combination with other diagnostic methods it sharply increases the accuracy of equipment condition assessment. The issues of registration of partial discharges by all possible methods such as electrical, electromagnetic, optical, acoustic and chemical are considered. The advantages and disadvantages of the methods, as well as the preference for their application to certain types of equipment are shown.

Modern methods of computer processing of measurement results, suppression of external and crosstalk disturbances, classification of partial discharges, identification of the defect type and location of its occurrence in the insulating structure of equipment are described in detail.

Practical examples of the use of methods for registering partial discharges under operating conditions for the timely detection of defects and the prevention of emergency equipment failures are given.

The monograph may be of interest to graduate and post-graduate students specializing in electric power engineering, to manufacturers of high-voltage equipment and diagnostic equipment, to maintenance and repair personnel of energy enterprises and specialized diagnostic organizations.

УДК 621.315.6

DOI 10.17212/978-5-7782-4907-3
ISBN 978-5-7782-4907-3

© Ovsyannikov A. G., 2023
© Novosibirsk State
Technical University, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения и сокращения	7
Введение	9
1. Электрический метод регистрации частичных разрядов	19
1.1. Основы метода	19
1.2. Методика осциллографических измерений электрических сигналов частичных разрядов в условиях эксплуатации	20
1.2.1. Выбор схемы и режима регистрации	20
1.2.2. Типы помех и их признаки	25
1.2.3. Достоверные признаки сигналов частичных разрядов	29
1.3. Градуировка схемы регистрации частичных разрядов	31
1.3.1. Влияние полосы частот измерения и размеров оборудования	32
1.3.2. Оценка кажущегося заряда частичных разрядов по сигналам высокочастотных трансформаторов тока	40
1.3.3. Оценка кажущегося заряда частичных разрядов сверхширокополосной аппаратурой	42
1.3.4. Особые случаи оценки кажущегося заряда	44
1.4. Особенности электрического метода регистрации частичных разрядов в некоторых видах оборудования	46
1.4.1. Измерения частичных разрядов в кабелях	46
1.4.2. Регистрация ЧР в силовом трансформаторном оборудовании	59
1.4.3. Регистрация частичных разрядов в изоляции вводов и измерительных трансформаторов тока	64
1.4.4. Регистрация частичных разрядов во вращающихся машинах	74
1.4.5. Регистрация частичных разрядов в КРУЭ	77
1.5. Специализированная аппаратура для измерений и мониторинга характеристик частичных разрядов	77

1.6. Практическое применение электрического метода регистрации частичных разрядов	85
Выводы по главе	93
2. Диагностирование оборудования по электромагнитному излучению разрядных процессов	95
2.1. Диагностирование ВЛ по характеристикам радиопомех	95
2.2. Регистрация частичных разрядов во внутренней изоляции оборудования по электромагнитному излучению сверх- и ультравысоких частот	99
2.2.1. Регистрация частичных разрядов в оборудовании открытых распределительных устройств	99
2.2.2. Регистрация электромагнитного излучения частичных разрядов в КРУЭ	104
2.2.3. Регистрация электромагнитного излучения частичных разрядов в силовых трансформаторах	113
2.3. Практическое применение диагностирования оборудования по электромагнитному излучению частичных разрядов	116
Выводы по главе	118
3. Оптические методы регистрации частичных разрядов	119
3.1. Оптическая регистрация разрядных процессов на внешней изоляции оборудования ...	119
3.2. Оптическая регистрация внутренних разрядных процессов	123
3.3. Практическое применение оптического метода регистрации ЧР	134
4. Регистрация разрядных процессов акустическими методами	135
4.1. Общие сведения	135
4.2. Дистанционные методы акустической регистрации разрядов	142
4.3. Контактные методы акустического контроля частичных разрядов	152
4.3.1. Акустическая регистрация частичных разрядов в силовом трансформаторном оборудовании	153
4.3.2. Акустическая регистрация частичных разрядов в электрических машинах	162
4.3.3. Акустическая регистрация частичных разрядов в силовых конденсаторах	164
4.3.4. Акустическая регистрация частичных разрядов в КРУЭ	171
4.4. Практическое применение акустического метода регистрации ЧР	176
5. Признаки частичных разрядов, выявляемые физико-химическими методами анализа	181
5.1. Хроматографические признаки частичных разрядов в маслонаполненном оборудовании	181

5.2. Обнаружение частичных разрядов в элегазовом оборудовании физико-химическими методами.....	184
5.3. Практическое применение физико-химических методов обнаружения ЧР.....	188
6. Гибридные системы регистрации и мониторинга частичных разрядов.....	191
7. Методы обработки и анализа сигналов частичных разрядов	197
7.1. Диагностическая ценность сигналов частичных разрядов.....	198
7.1.1. Диагностические признаки импульсов тока.....	198
7.1.2. Диагностические признаки амплитудно-фазовых диаграмм	199
7.2. Методы разделения сигналов частичных разрядов по кластерам	204
7.2.1. Кластеризация с использованием T – F -плоскости.....	204
7.2.2 Кластеризация по амплитуде тока, заряду и энергии	209
7.2.3. Кластеризация по трехфазным диаграммам импульсов тока.....	211
7.3. Машинные методы обработки и анализа характеристик частичных разрядов	220
Выводы по главе	228
Заключение	230
Библиографический список	232

CONTENTS

Designations and abbreviations	7
Introduction.....	9
1. Electrical method for registering partial discharges.....	19
1.1. Fundamentals of the method	19
1.2. Method of oscillographic measurements of electrical signals of partial discharges under operating conditions	20
1.2.1. Selection of the scheme and registration mode	20
1.2.2. Types of interference and their features	25
1.2.3. Reliable features of partial discharge signals	29
1.3. Calibration of the partial discharge registration scheme	31
1.3.1. Influence of the measurement frequency band and equipment dimensions	32
1.3.2. Estimation of the apparent charge of partial discharges by signals of high-frequency current transformers	40
1.3.3. Estimation of the apparent charge of partial discharges by ultra-wideband equipment.....	42
1.3.4. Special cases of estimation of the apparent charge	44
1.4. Features of the electrical method of registration of partial discharges in some types of equipment	46
1.4.1. Measurements of partial discharges in cables	46
1.4.2. Registration of PDs in power transformer equipment	59
1.4.3. Registration of partial discharges in the isolation of inputs and measuring current transformers	64
1.4.4. Registration of partial discharges in rotating machines.....	74
1.4.5. Registration of partial discharges in GIS	77

1.5. Specialized equipment for measuring and monitoring partial discharges characteristics	77
1.6. Practical application of the electrical method of partial charge registration	85
Conclusions on Chapter 1	93
2. Diagnostics of equipment by electromagnetic radiation of discharge processes.....	95
2.1. Diagnosis of high voltage lines (HVL) by of radio interference characteristics	95
2.2. Registration of partial discharges in the internal insulation of equipment by electromagnetic radiation of super-and ultra-high frequencies	99
2.2.1. Registration of partial discharges in open equipment switchgears.....	99
2.2.2. Registration of electromagnetic radiation of partial discharges in GIS	104
2.2.3. Registration of electromagnetic radiation of partial discharges in power transformers	113
2.3. Practical application of equipment diagnostics by electromagnetic radiation of partial discharges	116
Conclusions on Chapter 2	118
3. Optical methods for registering partial discharges.....	119
3.1. Optical registration of discharge processes in the equipment external insulation.....	119
3.2. Optical registration of internal discharge processes	123
3.3. Practical application of the optical method for registering PDs	134
4. Registration of discharge processes by acoustic methods.....	135
4.1. General information	135
4.2. Remote methods of acoustic registering of discharges	142
4.3. Contact methods of acoustic control of partial discharges	152
4.3.1. Acoustic registration of partial discharges in power transformer equipment.....	153
4.3.2. Acoustic registration of partial discharges in electrical machines.....	162
4.3.3. Acoustic registration of partial discharges in power capacitors	164
4.3.4 Acoustic registration of partial discharges in GIS.....	171
4.4. Practical application of the acoustic method of PD registration	176
5. Features of partial discharges detected by physico-chemical methods of analysis.....	181
5.1. Chromatographic features of partial discharges in an oil-filled equipment.....	181
5.2. Detection of partial discharges in SF 6 equipment by physico-chemical methods	184
5.3. Practical application of physico- chemical methods for detecting PDs	188
6. Hybrid systems for the registration and monitoring of partial discharges	191

7. Methods of processing and analysis of partial discharge signals	197
7.1. Diagnostic value of partial discharge signals	198
7.1.1. Diagnostic features of current pulses	198
7.1.2. Diagnostic features of amplitude-phase diagrams.....	199
7.2. Methods for separation of partial discharge signals by clusters	204
7.2.1. Clustering using the T-F-plane	204
7.2.2 Clustering by current amplitude, charge and energy	209
7.2.3. Clustering by three-phase diagrams of current pulses.....	211
7.3. Methods for computer processing and analysis of characteristics of partial discharges	220
Conclusions on Chapter 7	228
Conclusive statement	230
References.....	232