

УДК 621.3.027.7  
К 68

Рецензенты:

д-р техн. наук *С. М. Лебедев*

д-р техн. наук, профессор *Л. А. Дарьян*

**Коробейников С. М.**

К 68

Физические механизмы частичных разрядов: монография / С. М. Коробейников, А. Г. Овсянников. – 2-е изд., испр. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 266 с. – (Монографии НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4674-4

В монографии представлен обзор работ в области высоковольтной электрофизики и диагностики высоковольтного электрооборудования. Изложены результаты собственных исследований авторов, часть из которых не публиковалась на русском языке.

Актуальность представляемой работы не вызывает сомнений, поскольку в ней рассмотрены жизненно важные для эксплуатирующих высоковольтное оборудование организаций вопросы диагностирования высоковольтной изоляции.

Представлен исторический обзор применения характеристик частичных разрядов для диагностирования высоковольтного оборудования, рассмотрены модели и физическая картина ЧР, время задержки их формирования, связь истинного и кажущегося заряда ЧР, динамика и роль осевших зарядов в процессе ЧР.

УДК 621.3.027.7

ISBN 978-5-7782-4674-4

© Коробейников С. М., Овсянников А. Г., 2021, 2022

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2021, 2022

УДК 621.3.027.7  
К 68

Reviewers:

*S. M. Lebedev*, D.Sc. (Eng.)

Professor *L. A. Daryan*, D.Sc. (Eng.)

**Korobeinikov S. M.**

K 68      Physical mechanisms of partial discharges: monograph /  
S. M. Korobeinikov, A. G. Ovsyannikov. – Novosibirsk: NSTU Pub-  
lisher, 2022. – 266 p. – ('NSTU Monographs' series).

ISBN 978-5-7782-4674-4

The monograph provides an overview of publications in the field of high-voltage electrophysics and diagnostics of high-voltage electrical equipment. The results of the authors' own research are presented, some of which have not been published in Russian.

The relevance of the presented book is beyond doubt since it deals with the issues of diagnostics of high-voltage insulation which are vitally important for organizations operating high-voltage equipment.

A historical review of the application of the characteristics of partial discharges for diagnosing high-voltage equipment is presented, the models and the PD physical picture, the delay time of their formation, the relationship between the PD true and apparent charges, dynamics and the role of settled charges in the PD process are considered.

УДК 621.3.027.7

ISBN 978-5-7782-4674-4

© Korobeinikov S. M., Ovsyannikov A. G., 2021, 2022  
© Novosibirsk State Technical University, 2021, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
<b>1. Частичные разряды и отказы изоляции высоковольтного оборудования .....</b>	<b>9</b>
1.1. Исторический обзор.....	9
1.2. Второй период.....	21
1.3. Третий период .....	29
Выводы по разделу 1 .....	33
<b>2. Физические механизмы и характеристики частичных разрядов в газовых полостях твердых диэлектриков.....</b>	<b>35</b>
2.1. Элементарные процессы при разрядных явлениях в воздухе.....	35
2.2. Физический механизм и характеристики частичных разрядов в газовых полостях твердых диэлектриков .....	50
2.3. Экспериментальные исследования характеристик частичных разрядов модельных образцах .....	60
2.4. Обсуждение экспериментальных результатов .....	75
2.5. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими оценками длительности частичных разрядов.....	83
2.6. Статистическое запаздывание возникновения частичных разрядов .....	90
2.7. Связь истинного и кажущегося заряда частичных разрядов с размерами полостей или пузырьков .....	102
2.8. Влияние осевших зарядов на развитие частичных разрядов .....	133
2.9. Частичные и барьерные разряды: подобию и различия .....	163
2.10. Частичные разряды и дендриты .....	178
Выводы по разделу 2 .....	184



<b>3. Частичные разряды в жидкостях .....</b>	<b>189</b>
3.1. Общие вопросы ЧР .....	189
3.2. Энергия ЧР и «кажущийся заряд» .....	190
3.2.1. ЧР в резконеоднородном поле .....	191
3.2.2. ЧР в пузырьках и парогазовых полостях .....	191
3.2.3. ЧР в прослойках жидкости, имеющих границу с твердым диэлектриком .....	194
3.3. Частичные разряды в пузырьках .....	195
3.3.1. Экспериментальная установка и методика проведения работ.....	195
3.3.2. Экспериментальные результаты. Деформация .....	197
3.3.3. Экспериментальные данные по ЧР в пузырьках .....	201
3.3.4. Исследование возникновения частичных разрядов в стеклянной сфере, находящейся в трансформаторном масле .....	203
3.3.5. Регистрация влияния ЧР в микросфере на развитие ЧР во всплывающем пузырьке гелия .....	204
3.3.6. Эксперименты с рентгеновским излучением .....	206
3.3.7. Частичные разряды в резконеоднородном поле .....	208
3.3.8. Влияние присутствия воды в масле на электрическую прочность и на частичные разряды.....	209
3.3.9. Расчеты электрических полей при ЧР в пузырьке .....	212
3.3.10. Аналитическое решение для истинного заряда в деформированном пузырьке .....	215
3.3.11. ЧР в пузырьке: стример или таунсендовский заряд?.....	219
3.4. Возникновение локальных лавинных или стримерных процессов .....	221
3.4.1. Частичные разряды в нитробензоле и их обнаружение с помощью эффекта Керра .....	221
3.4.2. Частичные разряды в воде.....	230
Выводы по разделу 3 .....	233
Библиографический список .....	235

## CONTENTS

Introduction.....	7
<b>1. Partial discharges and insulation failures of high-voltage equipment .....</b>	<b>9</b>
1.1. Historical review.....	9
1.2. Second period .....	21
1.3. Third period .....	29
Conclusions on Section 1 .....	33
<b>2. Physical mechanisms and characteristics of partial discharges     in gas cavities of solid dielectrics .....</b>	<b>35</b>
2.1. Elementary processes in discharge phenomena in the air .....	35
2.2. Physical mechanism and characteristics of partial discharges in gas cavities of solid dielectrics .....	50
2.3. Experimental studies of the partial discharge characteristics in model samples .....	60
2.4. Discussion of the experimental results.....	75
2.5. Comparison of experimental data with theoretical estimates of partial discharge duration .....	83
2.6. Statistical lag of partial discharge inception .....	90
2.7. Relationship between the true and apparent charges of partial discharges with dimensions of cavities or bubbles .....	102
2.8. Influence of settled charges on the development of partial discharges .....	133
2.9. Partial discharges and barrier discharges: similarities and differences .....	163
2.10. Partial discharges and dendrites .....	178
Conclusions on Section 2.....	184
<b>3. Partial discharges in liquids .....</b>	<b>189</b>
3.1. General problems of PDs .....	189



3.2. PD energy and an apparent charge.....	190
3.2.1. PDs in a highly inhomogeneous field .....	191
3.2.2. PDs in bubbles and vapor-gas cavities .....	191
3.2.3. PDs in fluid layers with a boundary solid dielectric .....	194
3.3. Partial discharges in bubbles.....	195
3.3.1. Experimental setup and work procedure .....	195
3.3.2. Experimental results. Deformation .....	197
3.3.3. Experimental data on PDs in bubbles .....	201
3.3.4. Investigation of partial discharge inception in a glass sphere in transformer oil.....	203
3.3.5. Registration of the PD effect in a microsphere on the PD development in a floating helium bubble .....	204
3.3.6. X-ray experiments.....	206
3.3.7. PDs in a highly inhomogeneous field .....	208
3.3.8. Influence of the presence of water in oil on dielectric strength and on partial discharges.....	209
3.3.9. Calculations of electric fields for PDs in a bubble.....	212
3.3.10. Analytical solution for true charges in a deformed bubble .....	215
3.3.11. PD in a bubble: a streamer or a Townsend charge? .....	219
3.4. Occurrence of local avalanche or streamer processes .....	221
3.4.1. Partial discharges in nitrobenzene and their detection using the Kerr effect .....	221
3.4.2. Partial discharges in water .....	230
Conclusions on Section 3 .....	233
References.....	235