

Praktyczne aspekty wykorzystania obliczeń, modelowania i symulacji w projektowaniu urządzeń kompleksowej ochrony odgromowej i przepięciowej

dr inż. Konrad Sobolewski

Warszawa 2025

Kompilowane 2025/04/07 godz. 13:37:34

Spis treści

1	Wprowadzenie	11
2	Zagrożenie piorunowe.....	21
2.1	Wprowadzenie	21
2.2	Fizyka wyładowań piorunowych	23
2.3	Zagrożenie piorunowe obiektów naziemnych	29
2.4	Zagrożenie piorunowe obiektów pływających	36
2.5	Zagrożenie piorunowe obiektów latających	42
2.6	Podsumowanie	45
3	Ochrona odgromowa.....	47
3.1	Wprowadzenie	47
3.2	Koncepcja stref ochronnych	49
3.3	Normalizacja.....	51
3.4	Szacowanie ryzyka piorunowego	56
3.5	Zewnętrzne urządzenie piorunochronne	59
3.5.1	Maszty i zwody	60
3.5.2	Przewody odprowadzające	62
3.5.3	Uziemienie	63
3.6	Wewnętrzne urządzenie piorunochronne.....	65
3.6.1	Połączenia wyrównawcze	65
3.6.2	Urządzenia do ograniczania przepięć	65
3.6.3	Ekrany pola elektromagnetycznego.....	67
3.7	Podsumowanie	67
4	Obliczenia normatywne	69
4.1	Wprowadzenie	69
4.2	Obliczanie powierzchni zbierania	70

4.3	Współczynnik położenia obiektu	74
4.4	Lokalizacja analizowanego obiektu	85
4.5	Współczynnik środowiskowy	89
4.6	Podsumowanie	91
5	Podstawy modelowania i symulacji.....	93
5.1	Wprowadzenie	93
5.2	Podstawowe definicje	94
5.3	Modelowanie polowe a obwodowe	97
5.4	Krótki opis środowiska MATLAB	100
5.5	Krótki opis środowiska ANSYS Multiphysics	102
5.6	MIS w ochronie odgromowej...	103
5.6.1	Zwody, przewody odprowadzające	104
5.6.2	Uziomy	105
5.6.3	Napięcia indukowane	106
5.6.4	Ograniczniki przepięć	108
5.7	Podsumowanie	109
6	Udar piorunowy	111
6.1	Wprowadzenie	111
6.2	Model źródła udaru piorunowego	123
6.2.1	Model obwodowy w środowisku MATLAB/Simulink	124
6.2.2	Model polowy w środowisku ANSYS/Maxwell	126
6.3	Podsumowanie	128
7	Linia elektroenergetyczna.....	131
7.1	Wprowadzenie	131
7.2	Metoda klasyczna	132
7.3	Model linii typu PI	137
7.4	Model rozproszony linii	140
7.5	Odbicia	142
7.6	Podsumowanie	144
8	Zewnętrzna instalacja odgromowa	147
8.1	Wprowadzenie	147
8.2	Model zewnętrzznego LPS w środowisku MATLAB	148
8.2.1	Przykład MATLAB/Simulink	152
8.3	Model zewnętrznego LPS w środowisku ANSYS	161

8.4	Podsumowanie	168
9	Rozkład pola elektrycznego	171
9.1	Analiza prostych przypadków	176
9.2	Rozkład natężenia pola – MATLAB	179
9.3	Rozkład natężenia pola – ANSYS	180
9.4	Podsumowanie	182
10	Rozkład pola magnetycznego	185
10.1	Założenia - MATLAB	186
10.2	Podstawy teoretyczne	187
10.3	Model matematyczny	189
10.4	Właściwości obliczania pól	193
10.5	Analiza porównawcza prostych przypadków	195
10.6	Rozkład wokół LPS – MATLAB	196
10.6.1	Wpływ geometrii na rozkład pola	201
10.7	Rozkład pola wokół LPS – ANSYS	204
10.8	Podsumowanie	208
11	Napięcia indukowane	209
11.1	Wprowadzenie	209
11.2	Indukcyjność wzajemna	212
11.3	Indukcja pola magnetycznego	214
11.3.1	Obliczenia MATLAB	216
11.4	Obliczenia ANSYS	218
11.5	Obliczenie według normy	221
11.6	Obliczenia uproszczone	225
11.7	Podsumowanie	226
12	Uziemienie	229
12.1	Różne funkcje uziemienia	229
12.2	Właściwości gruntów	231
12.2.1	Pomiar rezystywności	235
12.3	Rozpływ prądu piorunowego w gruncie	244
12.3.1	Grunt wielowarstwowy	249
12.4	Substancje zmniejszające rezystywność gruntu	254
12.4.1	Obliczenia metodą analityczną	255
12.4.2	Symulacja w środowisku ANSYS	257

12.5	Podsumowanie	260
13	Ochrona przepięciowa	263
13.1	Podstawy zasad doboru i montażu SPD	264
13.2	Model ogranicznika warystorowego.....	266
13.2.1	Pomiary charakterystyki napięciowo-prądowej	268
13.2.2	Model SurgeArrester	270
13.2.3	Model Varistor	274
13.2.4	Model VariableResistor.....	278
13.3	Model ogranicznika iskiernikowego	280
13.4	Podsumowanie	285
14	Podsumowanie	289
15	Załączniki	293
15.1	Dwuwarstwowy model gruntu.....	293
15.2	Rozkład pola magnetycznego.....	296
15.3	Napięcia indukowane	299
	Bibliografia.....	301