Расчётно-графическая работа:

Задание 1

Исследование электропроводности твёрдых диэлектриков

Медная шина прямоугольного сечения отделена от корпуса опорным изолятором (см. рис. 5). Материал, размеры (см. рис. 6) и количество *N* (шт) звеньев опорного изолятора принять в соответствии с вариантом по таблицам 1.1 и 1.2. Определить объёмное *RV* и поверхностное *RS* сопротивления изолятора, объемный *IV* и поверхностный *IS* токи при напряжении *U* ( В) постоянного тока. Технические параметры диэлектриков принять по приложению 1.



Рис. 5. Четырёхзвенный опорный изолятор



Рис. 6. Обозначение размеров звена опорного изолятора

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.1 | | | | | | | | | | | |
| Величина | Ед. изм. | Последняя цифра номера зачётной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| D | мм | 100 | 80 | 90 | 70 | 120 | 110 | 50 | 60 | 40 | 150 |
| *H* | мм | 70 | 50 | 60 | 45 | 80 | 75 | 30 | 40 | 25 | 100 |
| *h* | мм | 20 | 16 | 18 | 14 | 24 | 22 | 10 | 12 | 8 | 30 |
| *a* | мм | 25 | 20 | 22 | 18 | 30 | 28 | 16 | 21 | 12 | 40 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1.2 | | | | | | | | | | | |
| Величина | Ед. изм. | Предпоследняя цифра номера зачётной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *U* | В | 1500 | 1000 | 800 | 2500 | 4000 | 1200 | 400 | 500 | 600 | 2000 |
| *N* | шт. | 7 | 5 | 4 | 10 | 15 | 6 | 2 | 3 | 4 | 8 |
| Фарфор | - | Х |  |  |  |  | Х |  |  |  |  |
| Ситалл | - |  | Х |  |  |  |  | Х |  |  |  |
| Стекло | - |  |  | Х |  |  |  |  | Х |  |  |
| Винипласт | - |  |  |  | Х |  |  |  |  | Х |  |
| Тефлон | - |  |  |  |  | Х |  |  |  |  | Х |

## Задание 2

# Исследование диэлектрических потерь

Три одножильных кабеля длиной *L* (км) напряжением *U* (кВ) питают нагрузку общей мощностью *P* (кВт) при cos ϕ = 1. Сечение жилы кабеля выбрать по току нагрузки. Параметры нагрузки см. таблицу 2.1 в соответствии с вариантом. Материал жилы и изоляции принять в соответствии с вариантом по таблице 2.2.

По условию электрического пробоя рассчитать минимальное значение толщины изоляции *d*min и, приняв её за расчётную толщину, определить величину потерь мощности в жилах *P*Ж (Вт) и потери мощности в изоляции *P*ИЗ (Вт) всех трёх кабелей, а также годовые потери электроэнергии в жилах кабелей и их изоляции, если считать, что нагрузка в течение года была неизменна.

Расчёт провести дважды: сначала считая напряжение переменным частотой *f* = 50 Гц, затем постоянным.

Технические параметры диэлектриков принять по приложению 1, проводников – по приложению 2, допустимые токи кабелей с различными видами изоляции – по приложению 3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.1 | | | | | | | | | | | |
| Величина | Ед. изм. | Последняя цифра номера зачётной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| L | км | 10 | 8 | 9 | 7 | 12 | 11 | 5 | 6 | 4 | 15 |
| *U\** | кВ | 10,5 | 6,3 | 10,5 | 6,3 | 10,5 | 6,3 | 10,5 | 6,3 | 10,5 | 6,3 |
| *P* | кВт | 600 | 360 | 380 | 340 | 640 | 620 | 300 | 320 | 380 | 900 |

\* Примечание: при материале изоляции кремнийорганической резине и ПВХ вместо напряжения 10,5 кВ принять 3 кВ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 2.2 | | | | | | | | | | |
| Величина | Предпоследняя цифра номера зачётной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Жила |  | | | | | | | | | |
| Медь | Х |  | Х |  | Х | Х | Х |  | Х |  |
| Алюминий |  | Х |  | Х |  |  |  | Х |  | Х |
| Изоляция |  | | | | | | | | | |
| Кабельная бумага КВУ | Х | Х |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Кабельная бумага КВ |  |  |  |  |  |  |  |  | Х | Х |
| Сшитый полиэтилен |  |  | Х | Х |  |  |  |  |  |  |
| Кремнийорганическая резина\* |  |  |  |  | Х | Х |  |  |  |  |
| Поливинилхлорид\* |  |  |  |  |  |  | Х | Х |  |  |

\* Примечание: при материале изоляции кремнийорганической резине и ПВХ вместо напряжения 10,5 кВ принять 3 кВ.

## Задание 3

Исследование влияния неоднородности электрических полей на электрический пробой диэлектриков

Две токоведущие части разделены двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя – *d*1, второго слоя – *d*2.

Необходимо:

* Указать материал, который при повышении напряжения первым потеряет свои изоляционные свойства;
* Определить пробивное напряжение *U*пр (кВ) – минимальное напряжение, при котором хотя бы один из материалов потеряет свои изоляционные свойства;
* построить график распределения напряжённости электрического поля *Е* (кВ/мм) в функции расстояния от одной из токоведущих частей.

Решить задачу для случаев:

а) токоведущие части – две обкладки плоского конденсатора площадью сечения *F* (мм2) и приложено переменное напряжение 50 Гц;

б) токоведущие части – две обкладки плоского конденсатора площадью сечения *F* (мм2) и приложено постоянное напряжение;

в) токоведущие части – жила и экран коаксиального кабеля площадью сечения жилы *S* (мм2) и приложено переменное напряжение 50 Гц;

г) токоведущие части – жила и экран коаксиального кабеля площадью сечения жилы *S* (мм2) и приложено постоянное напряжение.

Материал первого диэлектрика и размеры токоведущих частей принять по табл. 3.1 согласно последней цифре номера зачётной книжки. Второй диэлектрик – по предпоследней цифре номера зачётной книжки; если цифры одинаковы, то для цифр 0, 1, 2 принять вторым диэлектриком трансформаторное масло; 3, 4 – перфторуглеродная жидкость; 5, 6 – воздух; 7, 8, 9 – элегаз.

Технические параметры диэлектриков принять по приложению 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Таблица 3.1 | | | | | | | | | |
| Заданный параметр | Ед. измер. | Вариант | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Диэлектрик | – | Ситалл | Гетинакс | Фторопласт-3 | Плексиглас | Асботекстолит | Парафин | Стеклотекстолит | Поливинилхлорид | Миканит ФФГ | Полистирол |
| F | мм2 | 250 | 750 | 360 | 1550 | 400 | 450 | 1900 | 600 | 650 | 200 |
| S | мм2 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 |
| d1 | мм | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,7 |
| d2 | мм | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 2,1 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приложение 1 | | | | | |
| Усреднённые технические характеристики некоторых диэлектриков | | | | | |
| Диэлектрик | ρV, | ρS, | εr | tgδ | Eпр, |
| Ом⋅м | Ом | – | – | кВ/мм |
| Полиэтилен (ПЭВД) | 5⋅1014 | 1015 | 2,3 | 0,0002 | 45 |
| Полистирол | 1015 | 1013 | 2,4 | 0,0002 | 30 |
| Политетрафторэтилен (фторопласт–4, тефлон) | 1016 | 1015 | 2,0 | 0,00015 | 35 |
| Политрифторхлорэтилен (фторопласт –3) | 5⋅1014 | 1013 | 3,3 | 0,015 | 20 |
| Поливинилхлорид | 1011 | 1012 | 3,4 | 0,055 | 17 |
| Полиметилметакрилат (оргстекло, плексиглас) | 1012 | 1012 | 4 | 0,04 | 30 |
| Кремнийорганическая резина | 5⋅1012 | 1013 | 3,3 | 0,002 | 22 |
| Электротехнический фарфор | 8⋅1011 | 1010 | 6,3 | 0,025 | 28 |
| Электротехническое стекло | 1012 | 1014 | 7 | 0,024 | 48 |
| Ситалл (стеклокерамика) | 1011 | 5⋅1012 | 6 | 0,003 | 50 |
| Стеклотекстолит (СТЭФ–1) | 1012 | 1013 | 7,5 | 0,035 | 26 |
| Текстолит А | 107 | 1010 | 5 | 0,12 | 15 |
| Асботекстолит | 5⋅106 | 109 | 7,5 | 0,35 | 1,5 |
| Миканит ФМГ (М - мусковит) | 1015 | 1011 | 7 | 0,015 | 30 |
| Миканит ФФГ (Ф - флогопит) | 1012 | 1010 | 6 | 0,05 | 25 |
| Микалекс | 1012 | 1011 | 6,8 | 0,007 | 15 |
| Винипласт | 5⋅1011 | 1014 | 4 | 0,03 | 20 |
| Гетинакс | 5⋅108 | 109 | 6,5 | 0,21 | 30 |
| Кабельная бумага КВУ | 5⋅109 | 1010 | 4,3 | 0,0026 | 6,5 |
| Кабельная бумага КВ | 109 | 1010 | 3,5 | 0,0019 | 5,5 |
| Парафин | 1016 | 1015 | 2,2 | 0,0005 | 23 |
| Воздух | 1017 | – | 1 | 4⋅10–8 | 3,0 |
| Элегаз | 5⋅1017 | – | 1 | 4⋅10–8 | 7,8 |
| Трансформаторное масло | 5⋅1012 | – | 2,3 | 0,001 | 20 |
| Фторорганическая (перфторуглеродная) жидкость | 5⋅1013 | – | 1,9 | 0,0001 | 50 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Приложение 2 | | | | | | |
| Электрические свойства металлов и их сплавов | | | | | | |
| Вещество | Удельное сопротивление, | Температурный коэффициент сопротивления, | Температурный коэффициент линейного расширения, | Коэффициент тепло– проводности, | Удельная теплоёмкость, | Плотность, |
| мкОм∙м | 1/К | 1/К |  |  | кг/м3 |
| Алюминий | 0,028 | 4,210–3 | 2,410–5 | 209 | 922 | 2700 |
| Вольфрам | 0,055 | 4,610–3 | 4,410–6 | 168 | 218 | 19300 |
| Железо | 0,098 | 610–3 | 1,110–5 | 73 | 452 | 7870 |
| Золото | 0,024 | 3,810–3 | 1,410–5 | 293 | 126 | 19300 |
| Латунь | 0,07 | 10–3 | 1,810–5 | 109 | … | 8500 |
| Манганин | 0,445 | 2,510–5 | 1,810–5 | … | … | 8400 |
| Медь | 0,017 | 4,310–3 | 1,610–5 | 390 | 385 | 8940 |
| Никель | 0,073 | 6,510–3 | 1,310–5 | 95 | 444 | 8900 |
| Константан | 0,49 | –210–5 | 1,4410–5 | … | … | 8900 |
| Нихром | 0,11 | 1,710–4 | 1,810–5 | 16,8 | 504 | 8400 |
| Олово | 0,12 | 4,410–3 | 2,310–5 | 65 | 226 | 7310 |
| Платина | 0,105 | 3,810–3 | 910–6 | 71 | 134 | 21400 |
| Свинец | 0,21 | 3,710–3 | 2,910–5 | 35 | 130 | 11400 |
| Серебро | 0,016 | 410–3 | 1,910–5 | 415 | 234 | 10500 |
| Цинк | 0,059 | 3,710–3 | 3,110–5 | 111 | 390 | 7140 |
| Кобальт | 0,062 | 610–3 | 1,210–5 | 79 | 435 | 8710 |
| Титан | 0,48 | 3,310–3 | 8,110–6 | 15 | 577 | 4500 |
| Хром | 0,21 | … | 6,510–6 | … | … | 7100 |
| Молибден | 0,057 | 4,610–3 | 5,110–6 | 151 | 264 | 10200 |
| Магний | 0,045 | 4,210–3 | 2,610–5 | 167 | 1040 | 1740 |
| Кадмий | 0,076 | 4,210–3 | 310–5 | 93 | 230 | 8650 |

Приложение 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальное сечение жилы, мм2 | Допустимые токовые нагрузки кабелей с изоляцией из ПВХ на напряжение, кВ, А | | | | | | | |
| с алюминиевой жилой | | | | с медной жилой | | | |
| в воздухе | | в земле | | в воздухе | | в земле | |
| 3 кВ | 6 кВ | 3 кВ | 6 кВ | 3 кВ | 6 кВ | 3 кВ | 6 кВ |
| 10 | 69 | 50 | 68 | 55 | 91 | 65 | 89 | 70 |
| 16 | 93 | 65 | 83 | 70 | 121 | 85 | 116 | 92 |
| 25 | 122 | 85 | 113 | 90 | 160 | 110 | 148 | 122 |
| 35 | 151 | 105 | 136 | 110 | 197 | 135 | 178 | 147 |
| 50 | 189 | 125 | 166 | 130 | 247 | 165 | 217 | 175 |
| 70 | 233 | 155 | 200 | 160 | 318 | 210 | 265 | 215 |
| 95 | 284 | 190 | 237 | 195 | 386 | 255 | 314 | 260 |
| 120 | 330 | 220 | 269 | 220 | 450 | 300 | 358 | 295 |
| 150 | 380 | 250 | 305 | 250 | 521 | 335 | 406 | 335 |
| 185 | 436 | 290 | 343 | 285 | 594 | 385 | 455 | 380 |
| 240 | 515 | 345 | 396 | 335 | 704 | 460 | 525 | 445 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Токовая нагрузка на шланговые кабели с медными жилами в резиновой изоляции для передвижных установок на напряжение 3 и 6 кВ | | |
| S, мм2 | Допустимый ток, А, при напряжении | |
| 3 кВ | 6 кВ |
| 16 | 85 | 90 |
| 25 | 115 | 120 |
| 35 | 140 | 145 |
| 50 | 175 | 180 |
| 70 | 215 | 220 |
| 95 | 260 | 265 |
| 120 | 305 | 310 |
| 150 | 345 | 350 |

Приложение 3 (продолжение)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальное сечение жилы, мм2 | **Длительнодопустимый ток нагрузки для одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6 кВ, А** | | | | | | | |
| при прокладке в земле | | | | при прокладке в воздухе | | | |
| Кабель с медной жилой при расположении | | Кабель с алюминиевой жилой при расположении | | Кабель с медной жилой при расположении | | Кабель с алюминиевой жилой при расположении | |
| В плоскости | Треугольником | В плоскости | Треугольником | В плоскости | Треугольником | В плоскости | Треугольником |
| 35 | 221 | 193 | 172 | 147 | 250 | 203 | 188 | 155 |
| 50 | 250 | 225 | 195 | 170 | 290 | 240 | 225 | 185 |
| 70 | 310 | 275 | 240 | 210 | 360 | 300 | 280 | 230 |
| 95 | 336 | 326 | 263 | 253 | 448 | 387 | 349 | 300 |
| 120 | 380 | 370 | 298 | 288 | 515 | 445 | 403 | 346 |
| 150 | 416 | 413 | 329 | 322 | 574 | 503 | 452 | 392 |
| 185 | 466 | 466 | 371 | 364 | 654 | 577 | 518 | 450 |
| 240 | 531 | 537 | 426 | 422 | 762 | 677 | 607 | 531 |
| 300 | 590 | 604 | 477 | 476 | 865 | 776 | 693 | 609 |
| 400 | 633 | 677 | 525 | 541 | 959 | 891 | 787 | 710 |
| 500 | 697 | 759 | 587 | 614 | 1081 | 1025 | 900 | 822 |
| 630 | 792 | 848 | 653 | 695 | 1213 | 1166 | 1026 | 954 |
| 800 | 825 | 933 | 719 | 780 | 1349 | 1319 | 1161 | 1094 |

Приложение 3 (продолжение)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальное сечение жи-лы, мм2 | Длительнодопустимый ток нагрузки для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ, А | | | | | | | |
| при прокладке в земле | | | | при прокладке в воздухе | | | |
| Кабель с медной жилой при расположении | | Кабель с алюминиевой жилой при расположении | | Кабель с медной жилой при расположении | | Кабель с алюминиевой жилой при расположении | |
| В плоскости | треугольником | В плоскости | Треугольником | В плоскости | Треугольником | В плоскости | Треугольником |
| 50 | 250 | 225 | 195 | 170 | 290 | 240 | 225 | 185 |
| 70 | 310 | 275 | 240 | 210 | 360 | 300 | 280 | 230 |
| 95 | 336 | 326 | 263 | 253 | 448 | 387 | 349 | 300 |
| 120 | 380 | 370 | 298 | 288 | 515 | 445 | 403 | 346 |
| 150 | 416 | 413 | 329 | 322 | 574 | 503 | 452 | 392 |
| 185 | 466 | 466 | 371 | 364 | 654 | 577 | 518 | 450 |
| 240 | 531 | 537 | 426 | 422 | 762 | 677 | 607 | 531 |
| 300 | 590 | 604 | 477 | 476 | 865 | 776 | 693 | 609 |
| 400 | 633 | 677 | 525 | 541 | 959 | 891 | 787 | 710 |
| 500 | 697 | 759 | 587 | 614 | 1081 | 1025 | 900 | 822 |
| 630 | 762 | 848 | 653 | 695 | 1213 | 1166 | 1026 | 954 |
| 800 | 825 | 933 | 719 | 780 | 1349 | 1319 | 1161 | 1094 |

Приложение 3 (окончание)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке | | | | |
| Сечение токопроводящей жилы, мм2 | Ток, А, для кабелей трёхжильных напряжением, кВ, при прокладке | | | |
| 6 | | 10 | |
| в земле | в воздухе | в земле | в воздухе |
| 10 | 80 | 55 | - | - |
| 16 | 105 | 65 | 95 | 60 |
| 25 | 135 | 90 | 120 | 85 |
| 35 | 160 | 110 | 150 | 105 |
| 50 | 200 | 145 | 180 | 135 |
| 70 | 245 | 175 | 215 | 165 |
| 95 | 295 | 215 | 265 | 200 |
| 120 | 340 | 250 | 310 | 240 |
| 150 | 390 | 290 | 355 | 270 |
| 185 | 440 | 325 | 400 | 305 |
| 240 | 510 | 375 | 460 | 350 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке | | | | |
| Сечение токопроводящей жилы, мм2 | Ток, А, для кабелей трёхжильных напряжением, кВ, при прокладке | | | |
| 6 | | 10 | |
| в земле | в воздухе | в земле | в воздухе |
| 10 | 60 | 42 | - | - |
| 16 | 80 | 50 | 75 | 46 |
| 25 | 105 | 70 | 90 | 65 |
| 35 | 125 | 85 | 115 | 80 |
| 50 | 155 | 110 | 140 | 105 |
| 70 | 190 | 135 | 165 | 130 |
| 95 | 225 | 165 | 205 | 155 |
| 120 | 260 | 190 | 240 | 185 |
| 150 | 300 | 225 | 275 | 210 |
| 185 | 340 | 250 | 310 | 235 |
| 240 | 390 | 290 | 355 | 270 |