

ЛЕКЦИЯ 1

Электрическая изоляция

ЛИТЕРАТУРА

- «Техника высоких напряжений» под редакцией М.В. Костенко, Москва, изд. «Высшая школа», 1973г.
- «Расчет и конструирование электрокерамических конструкций», В.Н. Синявский, Москва, изд. «Энергия» 1977 г.
- «Расчет и конструирование систем электрической изоляции», В.С. Дмитриевский, Москва, изд. «Энергоиздат» 1987 г.

- **Электрическая изоляция** – это устройство, которое обеспечивает надежное электрическое разобщение элементарных токоведущих элементов, находящихся под разными потенциалами и их механическое закрепление.
- Также изоляция может обеспечивать теплоотвод (жидкие диэлектрики) и герметизацию от окружающей среды.
- Изоляция электроустановок может быть разделена на **внешнюю и внутреннюю**. Такое разделение связано со специфическими особенностями и большими различиями внешней и внутренней изоляции.

ВНЕШНЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ

- К **внешней изоляции** установок высокого напряжения относятся изоляционные промежутки между электродами, в которых роль основного диэлектрика выполняет воздух. (воздушные промежутки между проводами ЛЭП, шинами распределительных устройств и др.)
- **Внешнюю изоляцию** также образуют промежутки в воздухе вдоль поверхности изоляторов.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ

- Электрическая прочность внешней изоляции **зависит от атмосферных условий**: давления, температуры и влажности воздуха. На разрядные напряжения изоляторов наружной установки существенно влияют также загрязнения их поверхности и атмосферные осадки.
- Основной диэлектрик внешней изоляции — атмосферный воздух **не подвержен старению**, т.е. независимо от воздействующих на изоляцию напряжений и режимов работы оборудования его средние характеристики остаются неизменными.
- Воздух **восстанавливает** свою **электрическую прочность** после устранения причины пробоя.

ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ

- **Внутренней изоляцией** называются части изоляционной конструкции, не имеющие прямых контактов с атмосферным воздухом. Здесь изолирующей средой являются жидкие, твердые, газообразные диэлектрики или их комбинации, (сюда относятся: изоляция обмоток трансформаторов и электрических машин, изоляция кабелей, конденсаторов, герметизированная изоляция вводов и др.)

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ.

- Электрическая прочность внутренней изоляции практически не зависит от атмосферных и климатических условий, поскольку не имеет непосредственного контакта с атмосферным воздухом.
- **Внутренняя изоляция подвержена старению.** (Изоляция разрушается из-за протекающих электрохимических реакций, под действием частичных разрядов, при повышении температуры).
- **Пробой** твердой и комбинированной изоляции - явление необратимое, приводящее к выходу из строя электрооборудования

При проектировании изоляционных конструкций электрическая прочность внутренней изоляции должна быть больше внешней. Должно выполняться соотношение:

$$U_{пр} \approx 1,6 U_{пер}, \quad \text{где}$$

$U_{пр}$ – пробивное напряжение внутренней изоляции

$U_{пер}$ – напряжение перекрытия внешней изоляции.

ВИДЫ ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ

В установках высокого напряжения и оборудования энергосистем используется несколько видов внутренней изоляции. Наиболее широкое распространение получили:

1. Бумажно-пропитанная (бумажно-масляная),
2. Маслобарьерная изоляция,
3. Изоляция на основе слюды,
4. Пластмассовая изоляция
5. Газовая изоляция

БУМАЖНО-ПРОПИТАННАЯ ИЗОЛЯЦИЯ (БПИ).

- Исходными материалами служат специальные электроизоляционные бумаги и минеральные (нефтяные) масла или синтетические жидкие диэлектрики.
- БПИ применяется в секциях силовых конденсаторов, в высоковольтных вводах (проходных изоляторах), силовых кабелях, в изоляции трансформаторов.
- После намотки бумаги изоляция подвергается вакуумной сушке при температуре 100-120 °С. Затем под вакуумом производится пропитка бумаги тщательно дегазированным маслом.



Намотка бумаги на трубу



Термовакuumная сушка



Сборка ввода с БМИ



Вакуумная обработка.
Заливка и пропитка маслом

Бумажно-маслянный ввод



Внутренняя бумажно-масляная изоляция является основной конструктивной частью ввода.

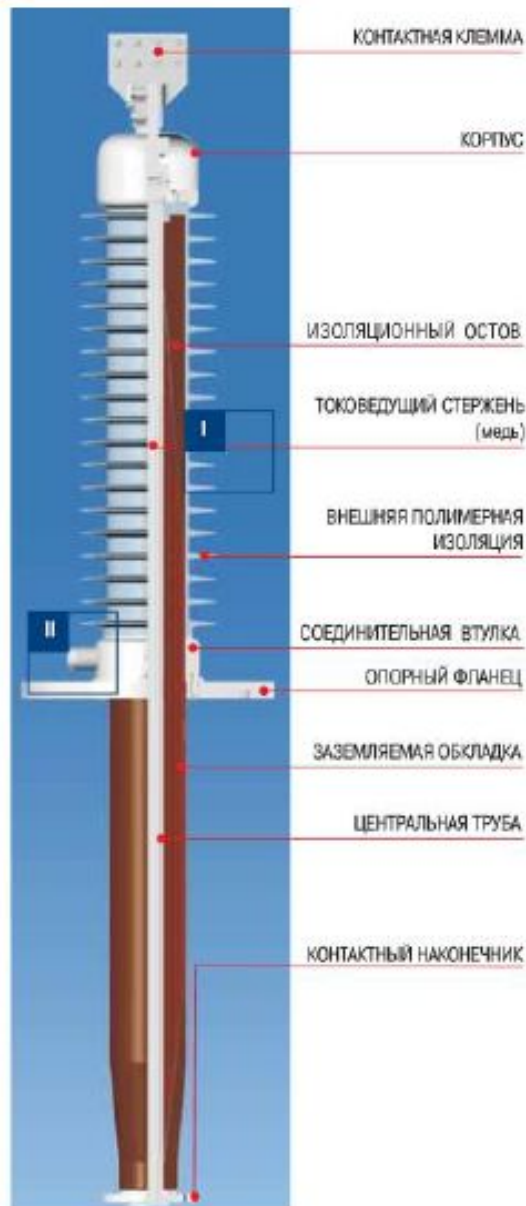
Представляет собой размещенный в масле изоляционный остов, который формируется намоткой на центральную или намоточную трубу электроизоляционной бумаги с разделением на слои проводящими уравнивающими обкладками.

Бумажно-маслянный ввод



Ввод 1150 кВ без верхнего и нижнего экранов

Вводы с RIP-изоляцией



Не содержат масла и могут устанавливаться под любым углом.

В качестве внешней изоляции помимо традиционной фарфоровой покрышки по желанию заказчика может устанавливаться изолятор из силиконовой резины, что обеспечивает высокую ударпрочность и сейсмостойкость.

RIP-изоляция (*resin impregnated paper* - бумага пропитанная смолой) – изоляционный материал, полученный на основе высушенной в вакууме и пропитанной эпоксидной смолой бумаги.

Применяется в электротехнических установках среднего и высокого напряжения.

Твердая RIP-изоляция - это бумажный остов из электроизоляционной бумаги и пропитанный специальным эпоксидным компаундом под вакуумом намотанный на проводник из алюминия или меди.

В процессе намотки в остов закладываются уравнивающие обкладки для выравнивания электрического поля.

Пропитка под вакуумом полностью исключает наличие газовых включений в остове, что позволяет получить высокие изоляционные характеристики RIP-изоляции.

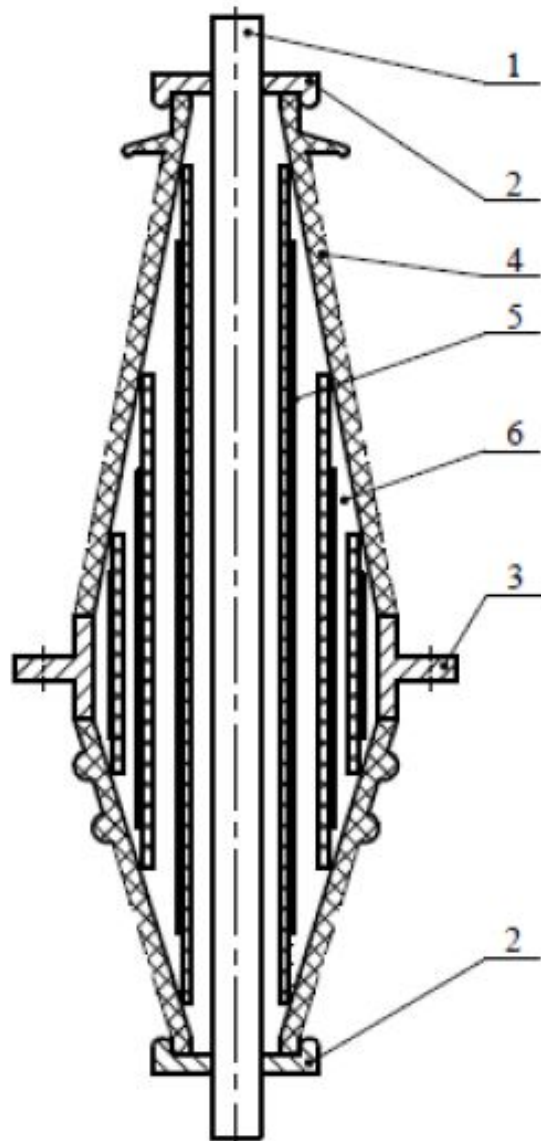
Отличительными особенностями RIP изоляции по сравнению с изоляцией RBP являются небольшие диэлектрические потери (0,25-0,45) и низкий уровень частичных разрядов. **Это позволяет считать RIP изоляцию лучшей внутренней изоляцией для трансформаторных вводов на сегодняшний день.**

МАСЛО-БАРЬЕРНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ (МБИ).

- Основу этой изоляции составляет трансформаторное масло. Оно обеспечивает хорошее охлаждение конструкции за счет самопроизвольной или принудительной циркуляции.
- В состав МБИ входят и твердые диэлектрические материалы – электрокартон, кабельная бумага и др. Из электрокартона выполняют барьеры а слоями кабельной бумаги покрывают электроды. Электроды сложной формы покрывают тонким слоем полимерного материала.
- Барьеры повышают электрическую прочность МБИ на 30-50%, разделяя изоляционный промежуток на ряд узких каналов, они ограничивают количество примесных частиц, которые могут приближаться к электродам и участвовать в инициировании разрядного процесса.

- Технология изготовления МБИ включает сборку конструкции, сушку ее под вакуумом при температуре 100-120°C и заполнение (пропитку) под вакуумом дегазированным маслом.
- К достоинствам МБИ относятся сравнительная простота конструкции и технологии ее изготовления, интенсивное охлаждение активных частей оборудования (обмоток, магнитопроводов), а также возможность восстановления качества изоляции в эксплуатации путем сушки конструкции и замены масла.
- Недостатками МБИ являются меньшая, чем у бумажно-масляной изоляции электрическая прочность, пожаро- и взрывоопасность конструкции, необходимость специальной защиты от увлажнения в процессе эксплуатации.
- МБИ используется в качестве главной изоляции в силовых трансформаторах с номинальными напряжениями от 10 до 1150 кВ, в автотрансформаторах и реакторах высших классов напряжения.

Маслобарьерный ввод



*Конструктивная схема
маслобарьерного ввода:*

- 1 — токопровод (стержень),
- 2 — высоковольтный фланец,
- 3 — заземленный фланец,
- 4 — фарфоровая рубашка,
- 5 — барьеры с обкладками,
- 6 — масло

**Электрическое поле выравнивается
металлическими обкладками
(фольга на барьерах).**

В результате $U_{пр}$ повышается в ~ 2,5 раза.

ИЗОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ СЛЮДЫ

- Слюда имеет очень высокую электрическую прочность (до 1000 кВ/мм), обладает стойкостью к воздействию частичных разрядов и высокой нагревостойкостью.
- Благодаря этим свойствам, слюда является незаменимым материалом для **изоляции статорных обмоток крупных вращающихся машин.**
- Основными исходными материалами служат микалента или стеклослюдинитовая лента.

КОНСТРУКЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

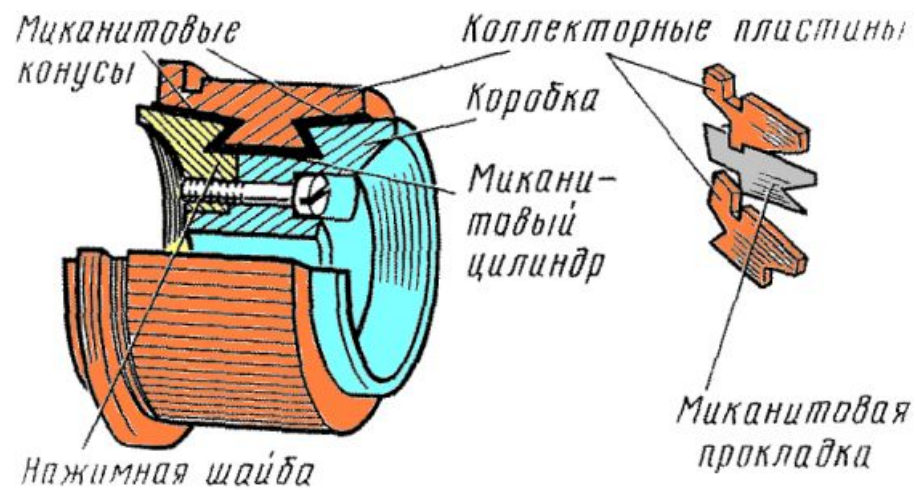
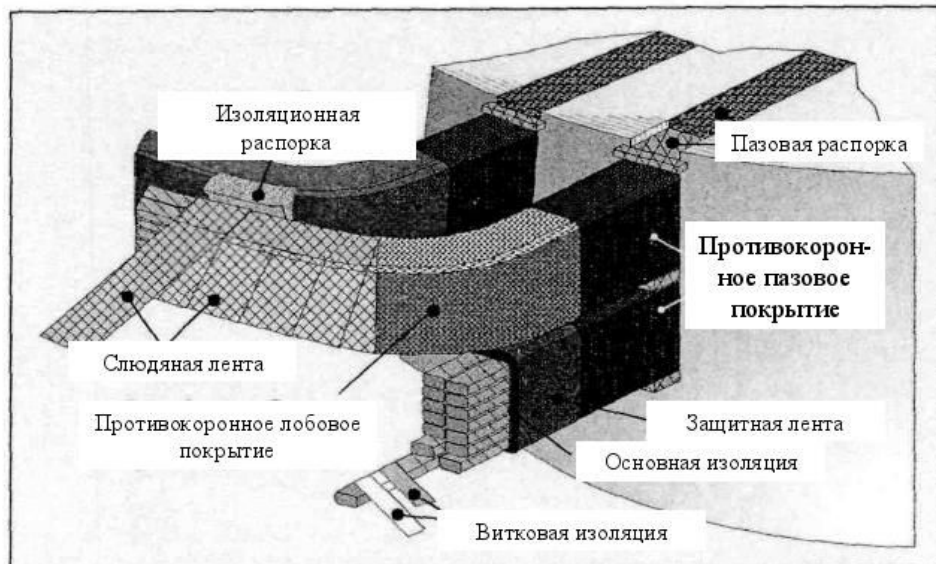
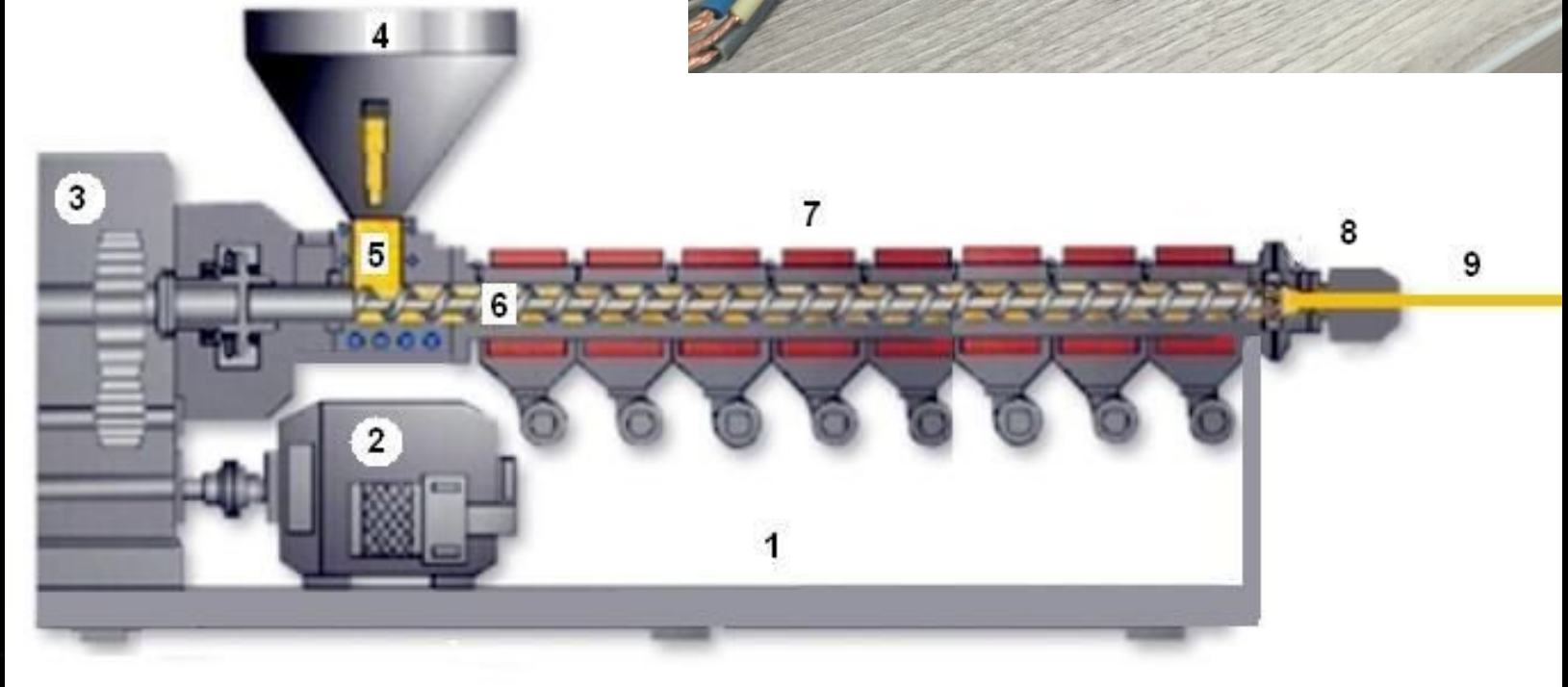


Рис. 18. Коллектор тягового двигателя

ПЛАСТМАССОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

- Пластмассовая изоляция в промышленных масштабах используется в изоляции проводов и кабелей, в том числе и силовых на напряжения до 220 кВ.
- Основным диэлектрическим материалом в этих случаях является полиэтилен и поливинилхлорид и др.



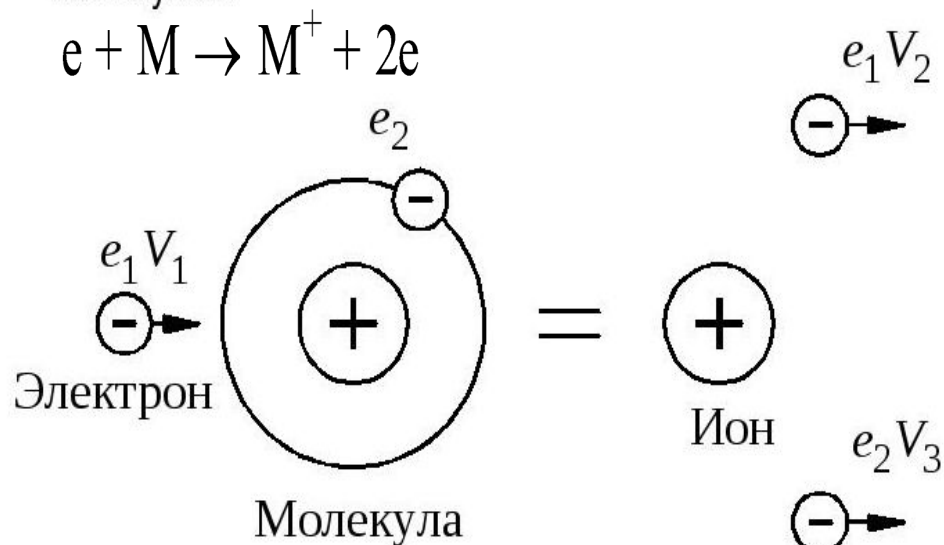
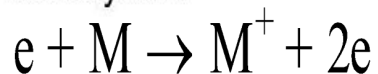
ГАЗОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ.

- Для выполнения газовой изоляции в высоковольтных конструкциях используется элегаз.
- Электрическая прочность элегаза в нормальных условиях примерно в 2,5 раза выше прочности воздуха (89 кВ/см).
- При увеличении давления электрическая прочность элегаза возрастает почти пропорционально давлению и может быть выше прочности жидких и некоторых твердых диэлектриков.
- Элегаз используется в выключателях, кабелях и герметизированных распределительных устройствах (ГРУ) на напряжения 110 кВ и выше и является весьма перспективным изоляционным материалом.

ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ПРОБОЕ ГАЗА

УДАРНАЯ ИОНИЗАЦИЯ

- **Ударная ионизация** – образование иона при соударении электрона с нейтральными атомом или молекулой.



Если в газе между двумя электродами появляется свободный электрон, то, набирая энергию при движении к аноду, согласно условию

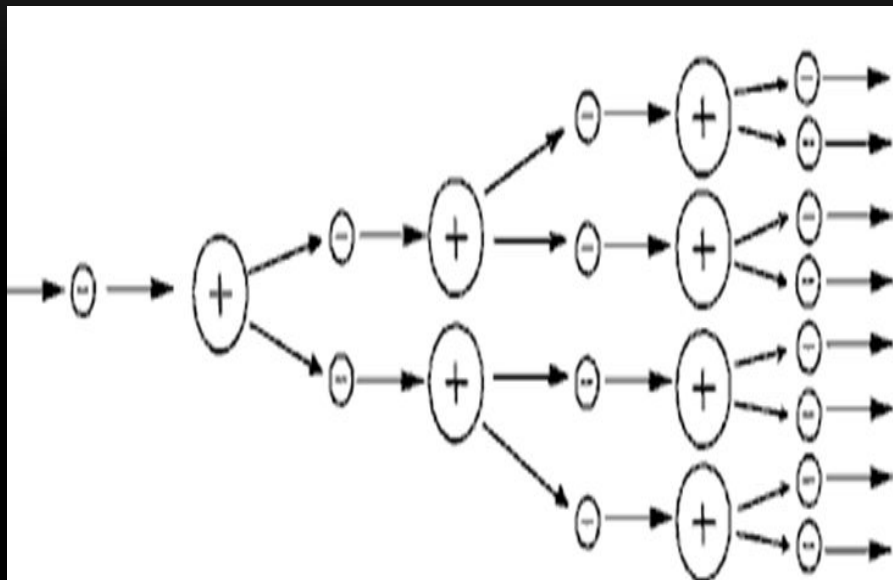
$$W_E = eE\lambda$$

он может ионизировать атом или молекулу газа при столкновении.

Происходит при энергии электрона, большей W_u .

Газ	O2	N2	CO2	SF6	H2
W_u , эВ	12,5	15,8	14,4	19,3	15,4

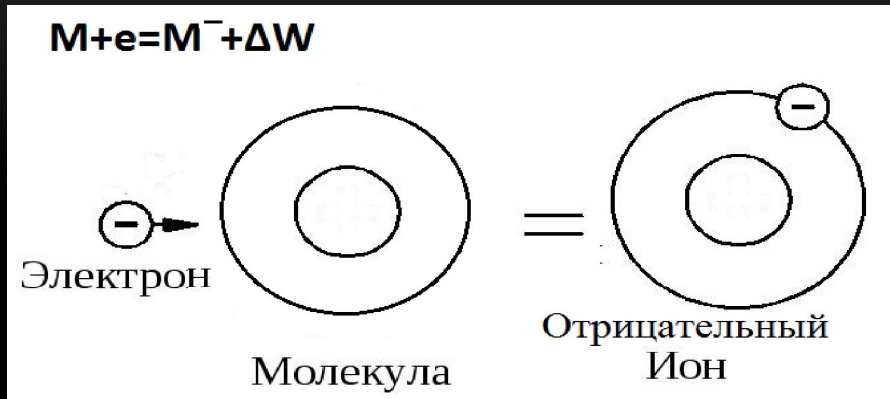
ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН



ЛАВИНА ЭЛЕКТРОНОВ

- Интенсивность размножения электронов в лавине характеризуется ***коэффициентом ударной ионизации α*** который равен числу ионизаций, производимых электроном на единице длины пути в по направлению электрического поля.

ЗАХВАТ ЭЛЕКТРОНА



- Коэффициент захвата элегаза равен 120 1/см

ΔW - энергия, освобождающаяся при захвате, равная энергии связи электрона с молекулой.

$\eta = \frac{1}{L_3}$ - коэффициент захвата,

где L_3 - средняя длина пробега электрона до его захвата.

Коэффициент захвата показывает долю захваченных электронов от общего количества на единичном пути. В основном зависит от вида газа.

- Процессы ударной ионизации могут носить лавинообразный характер при условии

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \eta > 0$$

$\alpha_{\text{эф}}$ -Эффективный коэффициент ионизации

- Количество электронов, которое образуется в лавине длиной x можно определить

$$N = e^{\alpha_{\text{эф}} x}$$

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ

ФОТОИОНИЗАЦИЯ

- **Фотоионизация** - это ионизация в результате поглощения молекулой квантов лучистой энергии, т.е. фотонов.
- Энергия фотона выражается формулой $w=h\nu$, где ν - частота излучения; h - постоянная Планка.

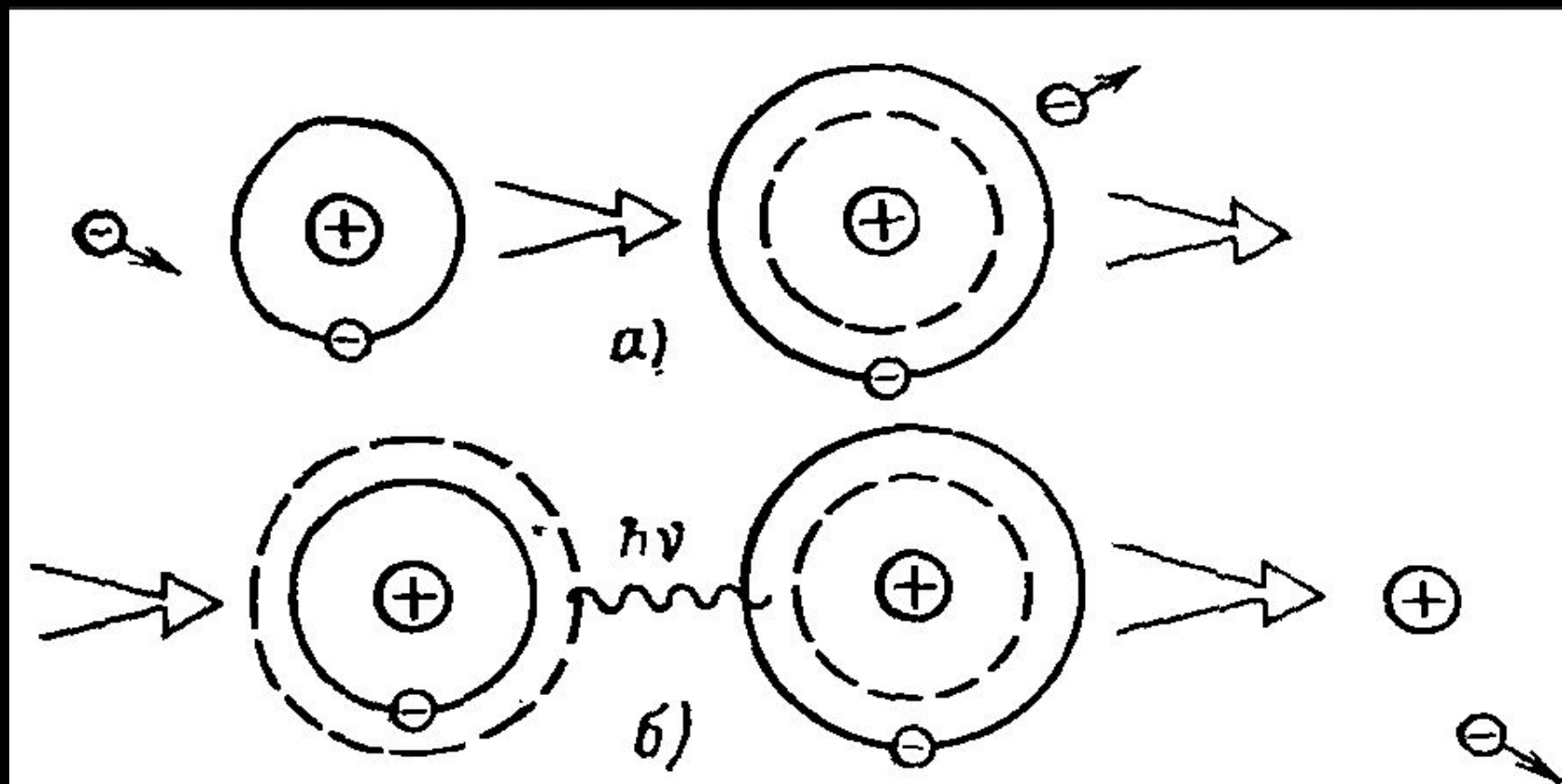
Тогда условие ионизации выражается формулой

$$h\nu_{\text{и}} \geq U_{\text{и}}$$

- В газовом разряде источником фотонов, способных к ионизации, служат не только внешние излучатели, но и сами молекулы, участвующие в газовом разряде.
- Процесс ионизации вторичными фотонами играет решающую роль в формировании искрового разряда.

- .

- Электрон в результате соударения возбуждает молекулу, при возвращении электрона на устойчивую орбиту излучается фотон, ионизирующий другую возбужденную молекулу.



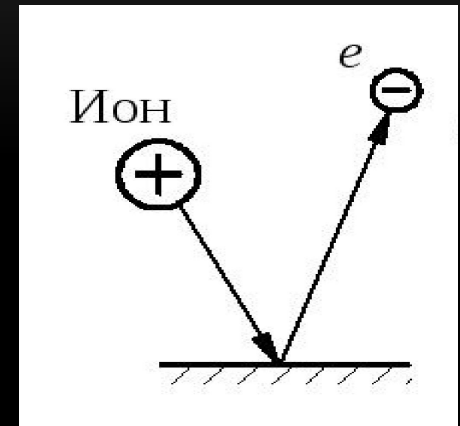
ПРИЭЛЕКТРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВТОРИЧНАЯ ИОНИЗАЦИЯ НА КАТОДЕ.

- Для многих видов разряда пробой всего промежутка возможен только в том случае, если кроме ионизации в объеме газа, имеет место и так называемая вторичная ионизация на катоде, обеспечивающая воспроизводство заряженных частиц в связи с их уходом из промежутка.
- Процессы освобождения электронов с катода под действием других частиц, появившихся в результате ударной ионизации (ионов, возбужденных атомов, фотонов) называют процессами **вторичной ионизации на катоде**.
- Определяется работой выхода электрона из металла.

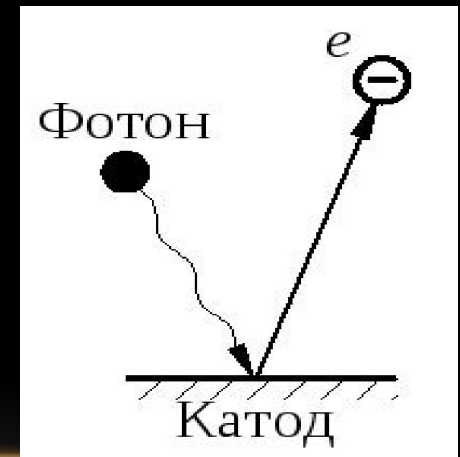
Me	Cu	Ni	W	Al
$W_{\text{вых}}, \text{эВ}$	4,4÷5,24	5,03	4,5	2,5÷2,8

ПРОЦЕССЫ ВТОРИЧНОЙ ИОНИЗАЦИИ НА КАТОДЕ:

а) Выбивание электронов под действием бомбардировки поверхности катода положительными ионами, ускоренными в электрическом поле. (ион-электронная эмиссия)

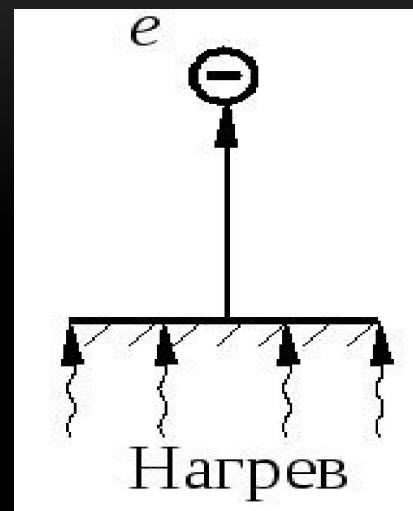


б) Поверхностная фотоионизация (фотоэлектронная эмиссия). Происходит при падении на поверхность катода фотонов достаточно высокой энергии;

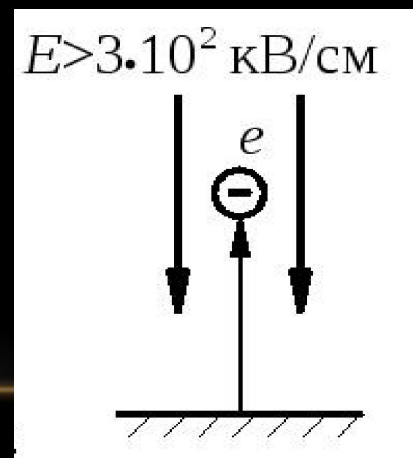


ТАКЖЕ НА ЭЛЕКТРОДАХ МОЖЕТ ВОЗНИКАТЬ:

в) **Термическая эмиссия** электронов из катода – это эмиссия, при которой свободные электроны в металле за счет его нагрева приобретают энергию, достаточную для преодоления поверхностного потенциального барьера;



г) **Автоэлектронная эмиссия** (холодная эмиссия) заключается в том, что электроны под действием сил электрического поля вырываются из катода. Автоэлектронная эмиссия происходит при напряженностях поля вблизи катода 10^6 В/см.



ВТОРИЧНАЯ ИОНИЗАЦИЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ВТОРИЧНОЙ ИОНИЗАЦИИ

- Фотоионизация в объеме газа и на катоде, а также освобождение электронов при бомбардировке катода положительными ионами происходят как следствие ударной ионизации и называются процессами вторичной ионизации. Соответственно, появившиеся в результате этих процессов электроны называются вторичными.
- Число вторичных электронов пропорционально числу актов ударной ионизации. **Коэффициент пропорциональности Υ называется коэффициентом вторичной ионизации.** Значение Υ зависит от природы и давления газа, материала катода и напряженности электрического поля, а также оттого, какой процесс вторичной ионизации превалирует.

ТЕРМОИОНИЗАЦИЯ

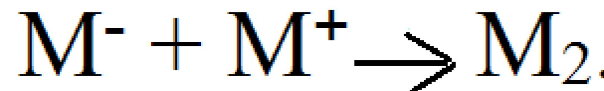
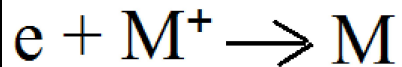
- При достаточно высокой температуре электроны и молекулы могут приобрести энергию достаточную для ионизации.
- Величина этой кинетической энергии определяется для молекулы выражением
- $W = \frac{3}{2} kT$,
- где W – кинетическая энергия теплового движения для молекулы; k – постоянная Больцмана; T – температура.
- Процесс термоионизации играет определяющую роль в столбе электрической дуги, температура которого составляет от 4000 до 15000 К.

ДИССОЦИАЦИЯ МОЛЕКУЛ

- Еще одним видом неупругого столкновения электронов с молекулами газа является столкновение приводящее к диссоциации молекулы, при котором молекула распадается на отдельные атомы или группы атомов. В общем виде эта реакция записывается как
 - $e + M_2 \rightarrow M + M + e.$
- Этот процесс имеет большое значение как для развития разряда, так и при технологическом использовании электрических разрядов, когда в разряде получают частицы определенного сорта.
- Энергии диссоциации молекул обычно выше энергии электронного возбуждения и ниже энергии ионизации молекулы. При столкновении электронов с молекулой с ее диссоциацией электрон теряет энергию, что препятствует его участию в ионизации и затрудняет развитие разряда, но продукты диссоциации могут принимать участие в цепочке последующих реакций, включая химические превращения, на которых и основывается электротехнология.

РЕКОМБИНАЦИЯ

- Рекомбинация - Взаимная нейтрализация положительных и отрицательных частиц.
- Помимо ионизации, при которой возникают новые электроны и ионы, в ионизованном газе идет обратный процесс - воссоединение заряженных частиц при их столкновениях с образованием нейтральных молекул.



САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД.

- Для образования лавины необходим хотя бы один начальный электрон.
- В том случае, когда начальные электроны непрерывно воссоздаются, лавинный процесс не прекращается.
- Начальные электроны могут создаваться внешними ионизаторами, в этом случае разряд называется несамостоятельным.
- Воссоздание начальных электронов может происходить и за счет ионизационных процессов в самой лавине. В этом случае процесс носит самоподдерживающийся характер, и разряд называется самостоятельным.
- Для того, чтобы разряд стал самостоятельным и мог существовать в отсутствие внешнего ионизатора, необходимо, чтобы в результате развития первоначальной лавины появлялся по крайней мере один вторичный электрон, способный создать новую лавину. Таким образом, условие самостоятельности разряда можно записать в общем виде как

-
- где L - расстояние между электродами.

$$\gamma \cdot \exp\left(\int_0^L \alpha dx\right) \geq 1$$

МЕХАНИЗМЫ ПРОБОЯ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА.

ЛАВИННЫЙ МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПРОБОЯ

- Происходит при малых расстояниях – меньше 2 см и при низких давлениях, гораздо меньших атмосферного.
- В разреженных газах каждая лавина ведет к нарастанию числа начальных электронов, инициирующих следующую лавину. В результате в каждой последующей лавине возрастает число ионизаций. Этот процесс нарастает по экспоненциальному закону, пока промежуток между электродами не заполнится хорошо проводящей плазмой, состоящей из положительных ионов, оставшихся от предыдущих лавин, и электронов образованных последней лавиной. Таким образом, в разреженных газах разряд носит многолавиновый характер. Из-за высокой разреженности газа основную роль во вторичной ионизации, создающей новые начальные электроны, играет фотоионизация с катода. Поэтому на разрядное напряжение промежутка заметно влияет материал катода, характеризуемый потенциалом поверхностной ионизации.

СТРИМЕРНЫЙ МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПРОБОЯ

- Происходит при больших расстояниях и больших давлениях. Такой пробой сопровождается ростом стримера. Начало образования стримера происходит после образования первичной лавины. Заряд первичной лавины сильно искажает исходную картину электрического поля, и последующие лавины образуются рядом с первичной.
- **Стримером называется** токопроводящий канал, состоящий из положительных ионов и электронов, движущихся через этот канал. Диаметр стримера примерно равен доли миллиметра. Этот канал испускает большое количество фотонов (светится) и выглядит в виде искры. Скорость удлинения стримера на порядок больше скорости движения электронов – примерно $10^8 \div 10^9$ см/с. Такая скорость вызвана тем, что стример удлиняется в основном за счёт фотоионизации.
- При достижении стримером противоположного электрода появляется канал пробоя. Разряд может перейти в стадию дугового разряда, если мощность источника напряжения позволяет получить токи больше $1 \div 100$ А. Такой механизм справедлив для однородного поля и расстояния менее 1 м.
- Т.е. при больших расстояниях, в плотных газах разряд протекает в однолавиновой форме, переходящей в стримерную. Основную роль в образовании вторичных лавин играет фотоионизация в объеме газа.

- а) Начальная лавина оставляет положительный объемный заряд
- б) За счет излучения начальной лавины появляются вторичные электроны, порождающие вторичные лавины.
- в) Эти лавины втягиваются в облако положительного объемного заряда. Образуется плазменный канал - стример
- г) Канал стримера является проводящим, имеет избыточный положительный заряд и представляет собой как бы выступ на поверхности анода. Сильно искажая электрическое поле, что способствует появлению новых вторичных лавин.
- д) Канал стримера удлиняется, стример перекрывает весь промежуток и происходит пробой.

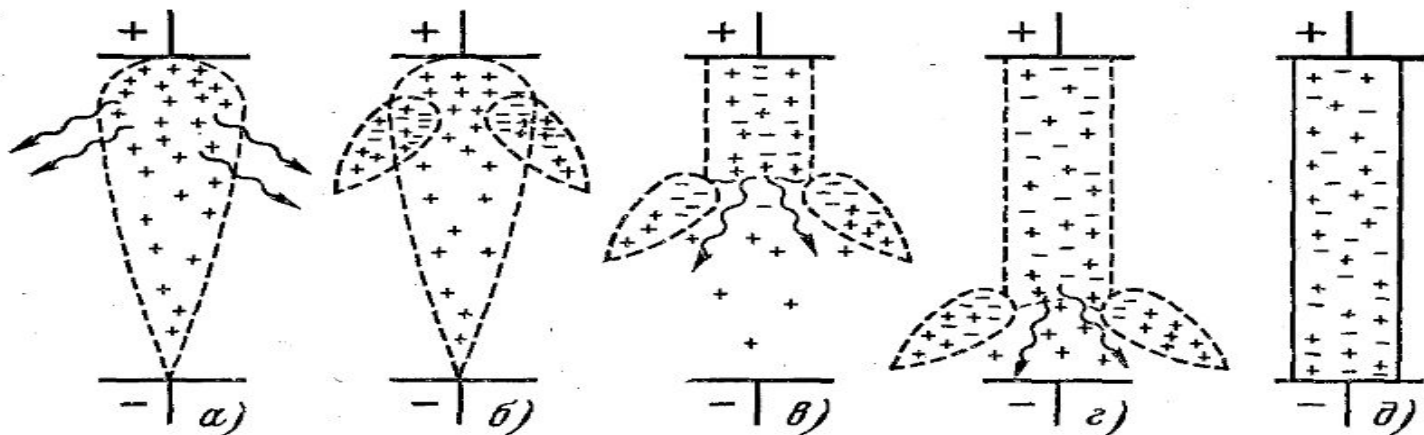


Рис. 2-7. Возникновение и развитие анодного стримера.

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛ. ПОЛЯ

Коэффициент неоднородности поля

- **Регулирование электрического поля** заключается в уменьшении напряженности поля в местах с повышенной неоднородностью.
- **Коэффициент неоднородности электрического поля** k_n - отношение максимального значения напряженности электрического поля в изоляционном промежутке к среднему значению напряженности электрического поля:

- $$K_n = \frac{E_{\max}}{E_{\text{ср}}}$$

Выравнивать электрическое поле можно

1. Изменяя геометрию конструкции:

Подбор радиусов кривизны, скругление острых кромок, применение расщепленных проводов.

2. Повышения активную проводимость отдельных участков изоляции, что приводит к уменьшению падения напряжения на них:

Подбор материалов с различной проводимостью, использование активных делителей напряжения, применение полупроводящих экранов, применение коронирующих электродов.

3. Емкостные способы, основанные на увеличении емкости тех участков, где необходимо снизить падение напряжения.

Градирование изоляции по диэлектрической проницаемости, применение внутренних и внешних экранов, использование конденсаторных обкладок, емкостных делителей напряжения.

СКРУГЛЕНИЕ КРАЕВ ЭЛЕКТРОДОВ, ПОДБОР РАДИУСОВ КРИВИЗНЫ



ПОЛУПРОВОДЯЩИЕ ПОКРЫТИЯ

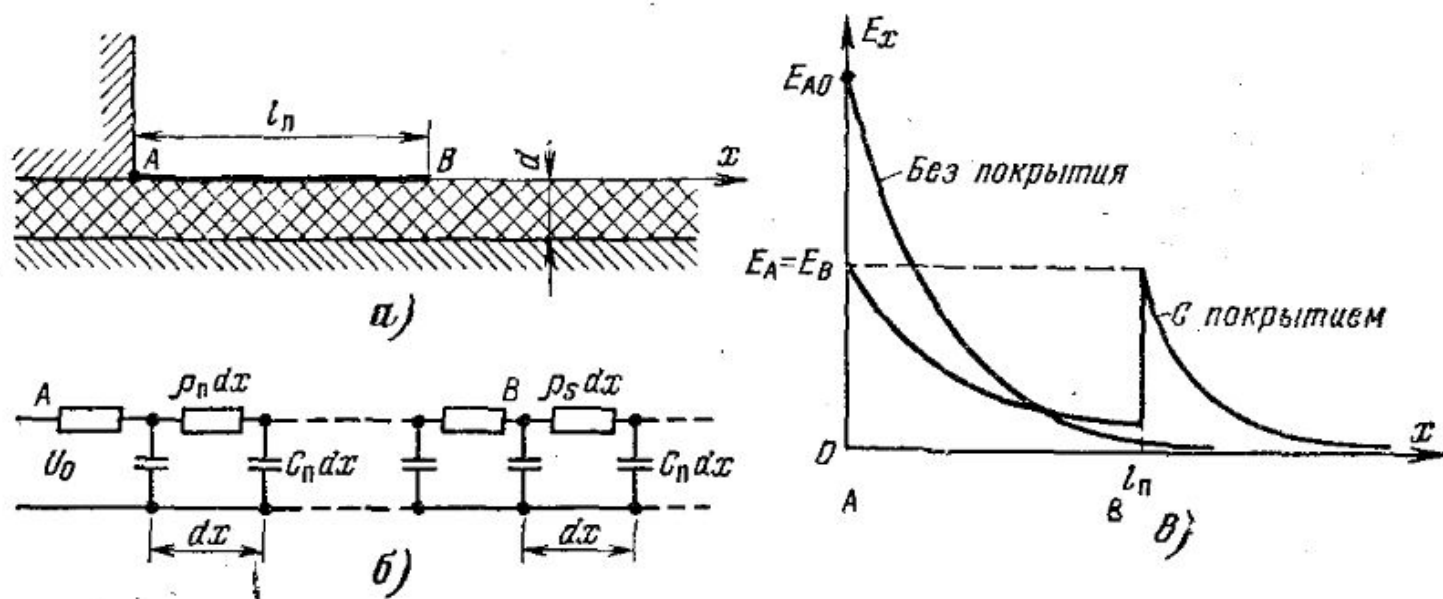


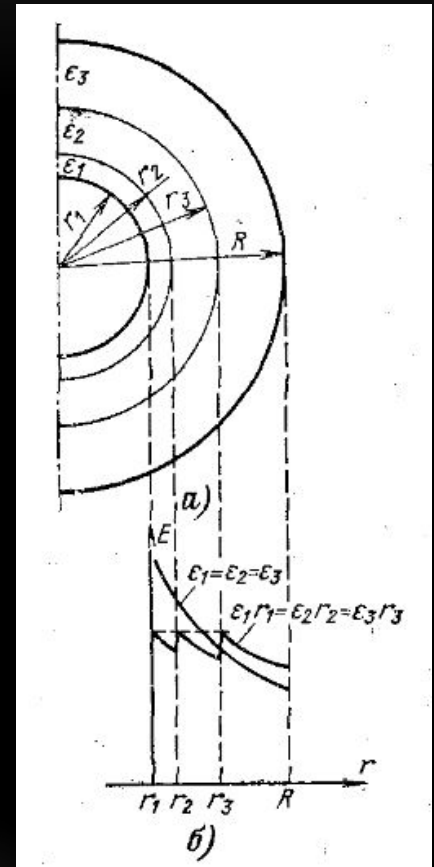
Рис. 7-3. Регулирование электрического поля с помощью полупроводящего покрытия.

а — устройство изоляции (на участке АВ — покрытие); б — схема замещения; в — изменение напряженности E_x вдоль поверхности твердой изоляции.

ГРАДИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Рис. 7-5. Регулирование электрического поля путем градирования изоляции.

а — схема градированной изоляции; *б* — изменение напряженности в изоляции без градирования и при градировании.

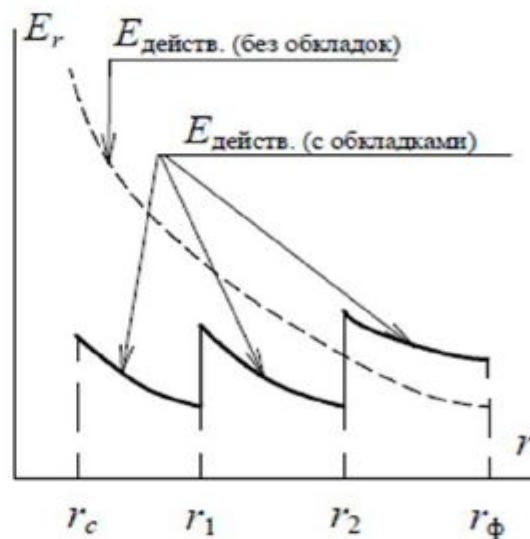
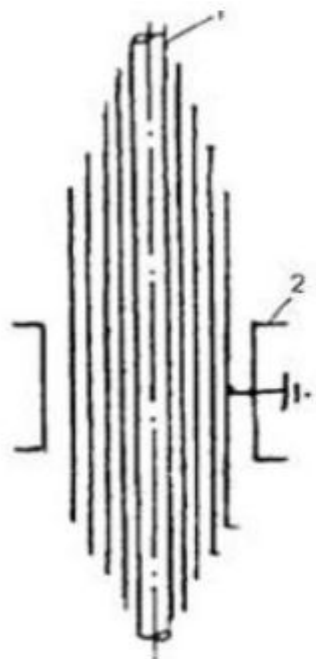


ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ ОБКЛАДОК

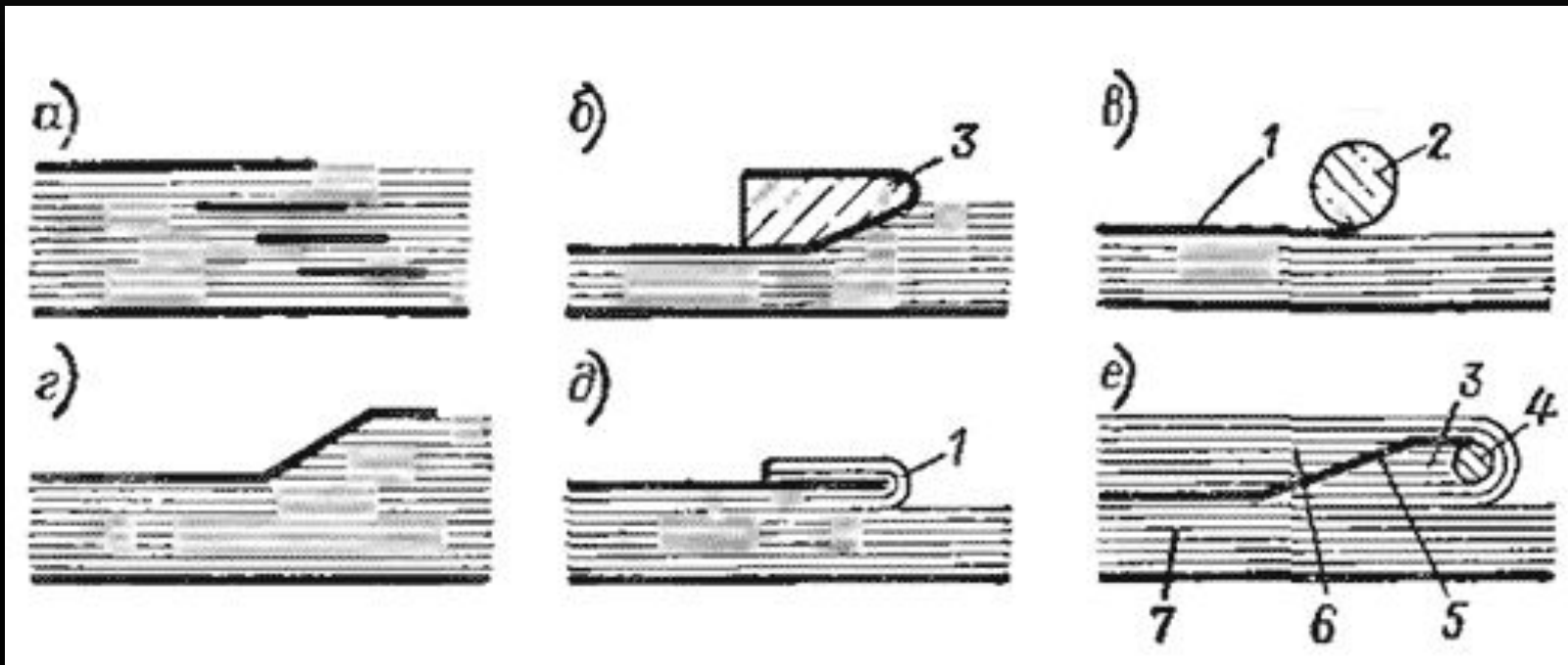
Регулирование электрических полей во внутренней изоляции

Применение конденсаторных обкладок

Путем изменения размеров, числа и взаимного расположения конденсаторных обкладок меняется емкость последовательно включенных конденсаторов и **регулируется характер распределения напряжения**

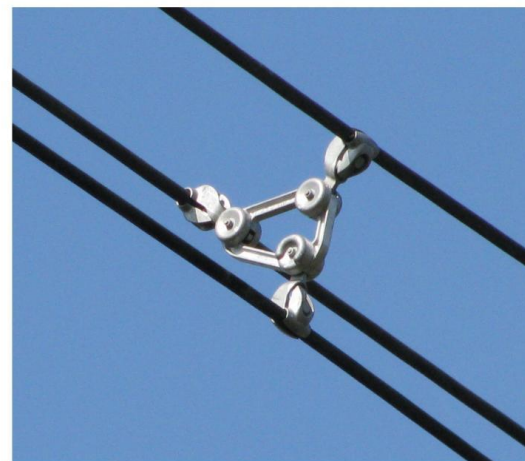
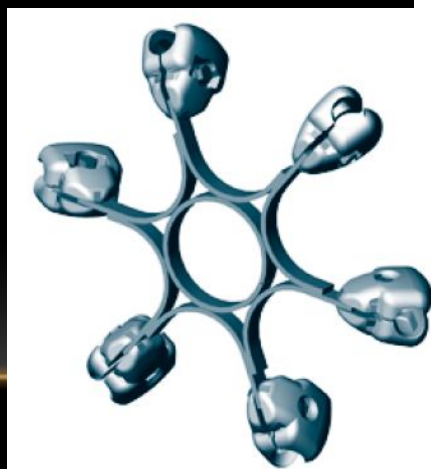
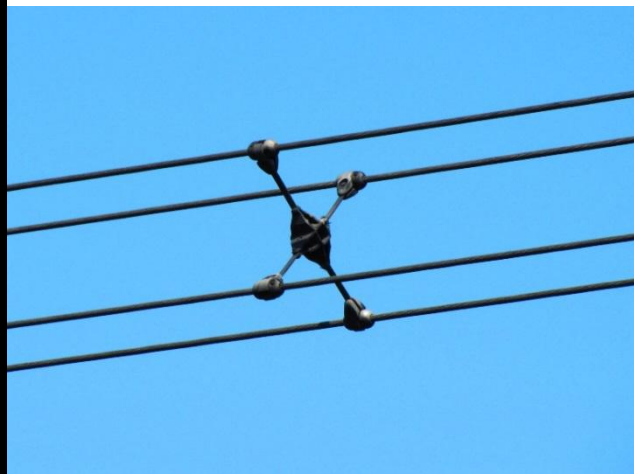
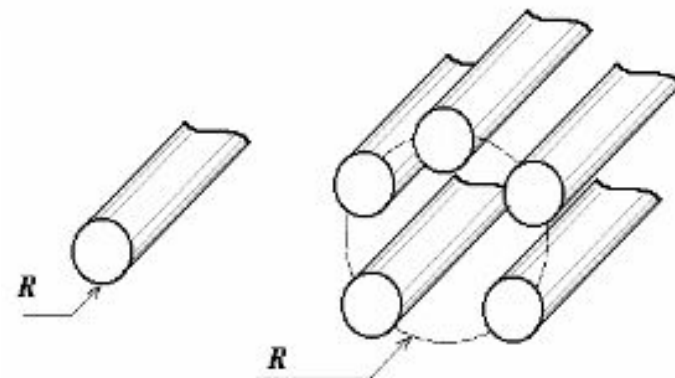


ЗАВОРАЧИВАНИЕ КРАЯ ОБКЛАДОК



РАСЩЕПЛЕННЫЕ ПРОВОДА

Расщепление фазы (рис.2.18), то есть применение вместо 1 фазного провода 3÷5 проводов в фазе позволяет увеличить $R_{\text{эф.фазы}}$ и тем самым погасить развитие короны в ЛЭП на сверхвысокие напряжения. Это уменьшает и потери энергии.



ЕМКОСТНЫЕ МЕТОДЫ В ГИРЛЯНДЕ ИЗОЛЯТОРОВ

Ёмкостной метод заключается в перераспределении электрического поля по ёмкостям отдельных элементов (частей) ЭИК.

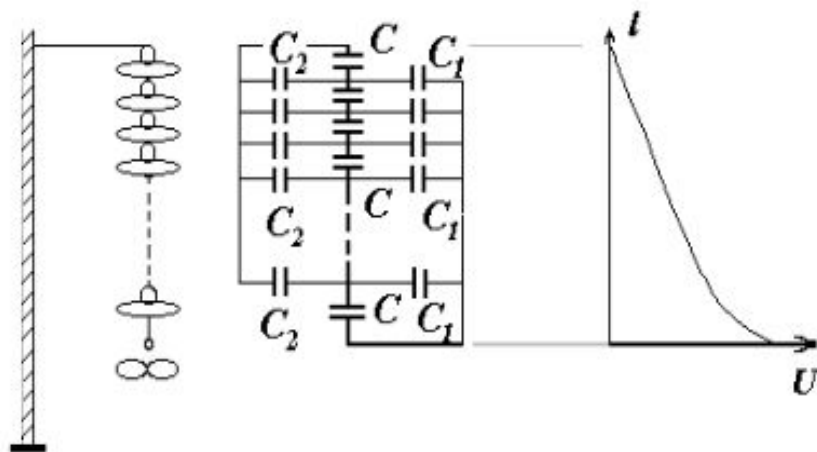


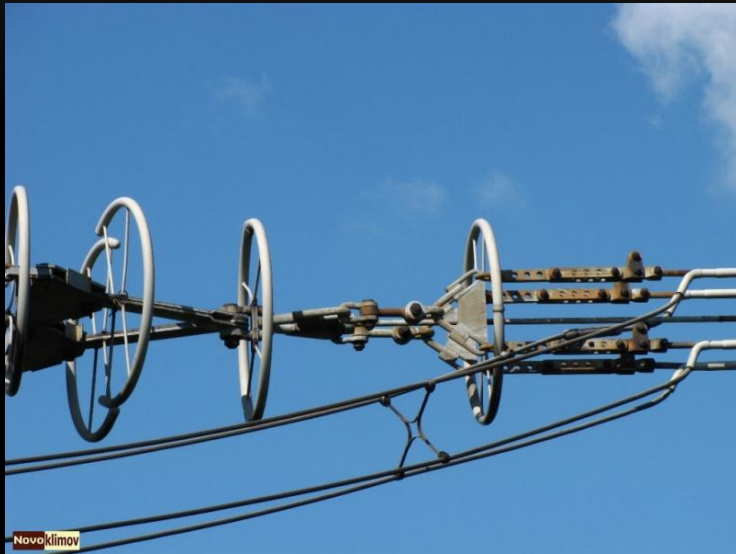
Рис.2.19

В гирлянде подвесных изоляторов (рис.2.19) такое перераспределение поля осуществляется за счёт ёмкости самих изоляторов - C , ёмкости по отношению к земле - C_1 и ёмкости по отношению к проводу - C_2 .

Так как суммарная ёмкость гирлянды равна $C_2 = C/n$, где n - число эле-

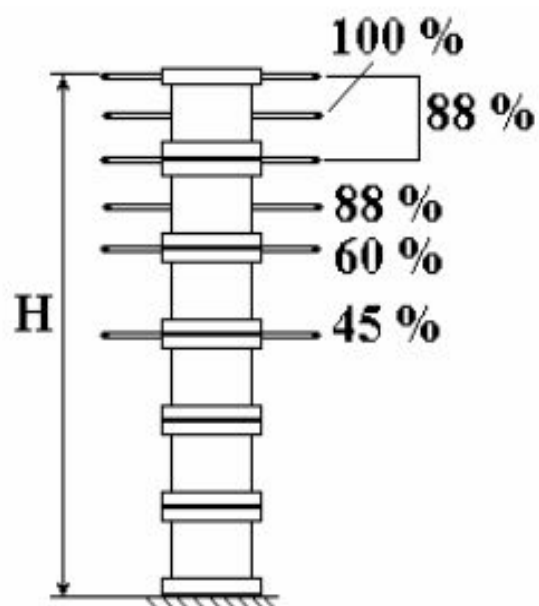
ментов в гирлянде, то C_2 по величине близка к C_1 и C_2 .

Поэтому изменяя ёмкость C_1 и C_2 за счёт специальной арматуры (рогов, колец, восьмёрок), можно изменять характер распределения потенциала по длине гирлянды и тем самым снижать напряжённость поля.



4. Принудительное распределение потенциала

В данном случае для регулирования поля в колонне опорных изоляторов ГИИ и ГИТ используются экраны в виде тороида, на которые принудительно подаётся соответствующий потенциал от самой установки (рис.2.20).



Это приводит к выравниванию поля по длине колонны и повышает напряжение $E_{кор}$.

Для тороида:

$$E_{кор} = 1.65m\delta \left(1 + \frac{0.108}{\delta^{0.5} r^{0.38}}\right), \text{ [МВ/м]},$$

где r – радиус тороида, м.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!