

Васюченко Павел Викторович, канд. педаг. наук, доцент кафедри автоматизації енергетических процесів Українська інженерно-педагогічна академія, г. Харків, Україна. ул. Университетская 16, г. Харків, Україна, 61003

МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье рассматриваются метод ограничения перенапряжений в электрических сетях промышленных предприятий для обеспечения надежной работы электрооборудования. Проанализированы особенности перенапряжений в высоковольтных сетях и предложены мероприятия по их ограничению. В условиях постоянно усложняющихся технологических процессов, увеличения степени ответственности за перерыв в электроснабжении, возрастает важность обеспечения надежной работы изоляционной конструкции, от чего во многом зависит вся надежность функционирования электроэнергетической системы. В процессе работы электроэнергетической системы на изоляцию электрооборудования постоянно действуют различные уровни напряжения. В высоковольтных цепях главным источником внешних перенапряжений являются разряды молнии. Импульсы перенапряжений распространяются на значительные расстояния от места их возникновения. Набегающие волны могут представлять опасность для электрооборудования подстанций, электрическая прочность которого ниже, чем у линейной изоляции. Выбор уровня (промежутка между электродами) изоляции электрооборудования электростанций и подстанций должен быть экономически оправдан. Предложен комплекс работ по координации и контролю изоляции для снижения ущерба от прерывания электроснабжения.

Ключевые слова: электрические сети, электрооборудование, надежность электроснабжения, перенапряжения в электрических сетях, защита электрооборудования от перенапряжения.

Васюченко Павло Вікторович, канд. педаг. наук, доцент кафедри автоматизації енергетических процесів Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Университетська 16, м. Харків, Україна, 61003

МЕТОДИ ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

У статті розглядається метод обмеження перенапруг в електричних мережах промислових підприємств для забезпечення надійної роботи електрообладнання. Проаналізовано особливості перенапруг в високовольтних мережах та запропоновано заходи щодо їх обмеження. В умовах постійно ускладнюються технологічних процесів, збільшення ступеня відповідальності за перерву в електропостачанні, зростає важливість забезпечення надійної роботи ізоляційної конструкції, від чого багато в чому залежить вся надійність функціонування електроенергетичної системи. В процесі роботи електроенергетичної системи на ізоляцію електрообладнання постійно діють різні рівні напруги. У високовольтних ланцюгах головним джерелом зовнішніх перенапруг є розряди блискавки. Імпульси перенапруг поширюються на значні відстані від місця їх виникнення. Хвилі, що можуть становити небезпеку для електроустаткування підстанцій, електрична міцність якого нижче, ніж у лінійної ізоляції. Вибір рівня (проміжку між електродами) ізоляції електрообладнання електростанцій і підстанцій повинен бути економічно виправданий. Запропоновано комплекс робіт по координації і та контролю ізоляції для зниження шкоди від переривання електропостачання.

Ключові слова: електричні мережі, електрообладнання, надійність електропостачання, перенапруги в електричних мережах, захист електрообладнання від перенапруги.

Vasyuchenko Pavel Viktorovich, candidate of pedagogical Sciences, associate Professor of Department of automation of energy processes Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkiv, Ukraine. Str. Universitetskaya 16, Kharkiv, Ukraine, 61003

METHODS FOR REDUCING VOLTAGE IN ELECTRIC NETWORKS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES TO ENSURE RELIABLE WORK OF ELECTRICAL EQUIPMENT

The article discusses the method of limiting overvoltages in the electrical networks of industrial enterprises to ensure reliable operation of electrical equipment. The features of overvoltages in high-voltage networks are analyzed and measures to limit them are proposed. In the conditions of constantly complicated technological processes, an increase in the degree of responsibility for a break in the power supply, the importance of ensuring the reliable operation of the insulating structure, on which the whole reliability of the functioning of the electric power system depends, increases. In the process of a robot of an electric power system for an electric power supply, a constant

power supply is required. In viscous-voltage lancing rods, the head jerel of the external overload is ϵ discharge bliskavki. Impulse overvoltage is broadened to the meaning of the state of the world. Hvili, you can make it easy for you to do electrical installation, electric wisdom is lower, lower in linear. Vibration of electricity (promotion by electrodes) Power supply and power supply are guilty but economically correct. The robotic complex for coordination and control of the installation for lowering the price of the shredded electronic copying has been spread.

Keywords: electrical networks, electrical equipment, power supply reliability, surge in electrical networks, electrical protection against overvoltage.

Введение

Любая электрическая установка состоит из двух основных элементов – токоведущая часть и изоляция. В условиях постоянно усложняющихся технологических процессов, увеличения степени ответственности за перерыв в электроснабжении, возрастает и важность обеспечения надежной работы изоляционной конструкции. От надежной работы изоляционной конструкции, во многом, зависит вся надежность функционирования электроэнергетической системы.

Основная часть

В процессе работы электроэнергетической системы на изоляцию электрооборудования постоянно действуют различные уровни напряжения.

Кроме всего прочего на изоляцию за время эксплуатации воздействуют: электрическое поле рабочего напряжения, повышенного испытательного и перенапряжения; тепловой и механические факторы; электролитические и другие воздействия (ионизация, корона и т. п.).

Весь комплекс факторов особенно сказывается на изоляции в при рабочий период, когда отмечается наибольшее число пробоев изоляции. В рабочий период пробой изоляции – редкое явление, электрическая прочность ее должна проверяться повышенным испытательным напряжением.

Важным аспектом обеспечения бесперебойной работы является ограничение перенапряжений в электрических сетях.

Перенапряжением называют всякое превышение напряжением амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Длительность перенапряжения может составлять от единиц микросекунд до нескольких часов. Воздействие перенапряжения на изоляцию может привести к ее пробую. К основным характеристикам перенапряжения (которые, как правило, являются случайными величинами) относят следующие:

- максимальное значение;
- кратность перенапряжения, равная отношению максимального значения перенапряжения к амплитуде наибольшего допустимого рабочего напряжения;
- время нарастания перенапряжения;
- длительность перенапряжения;
- число импульсов в перенапряжении;
- широта охвата сети;
- повторяемость перенапряжения.

Наибольшее рабочее напряжение (линейное) определяется соотношением $U_{\text{раб. наиб.}} = k_p \cdot U_{\text{ном}}$.

Для отклонения напряжения ГОСТ 13109-97 определяет нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии соответственно ± 5 и $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети.

По месту приложения напряжения различают:

- фазные перенапряжения;
- междуфазные перенапряжения;

- внутрифазные перенапряжения, например, между витками катушки трансформатора, между нейтралью и землей);
- между контактами коммутационных аппаратов.
- по причинам возникновения перенапряжения подразделяются на следующие:
- внешние – от разрядов молнии (атмосферные перенапряжения) и от воздействия внешних источников;
- внутренние – возникающие при резонансных явлениях, при авариях и при коммутациях элементов электрической цепи.

В высоковольтных цепях главным источником внешних перенапряжений являются разряды молнии. Наиболее опасны прямые удары молнии в оборудование (ПУМ), при которых даже на заземленных сооружениях возникают большие потенциалы. Индуктированные перенапряжения возникают вследствие индуктивной и емкостной связи канала молнии с токоведущими и заземленными частями электрической сети. Величина индуктированных перенапряжений меньше, чем при прямых ударах молнии, и они опасны только для сетей до 35 кВ при ударе молнии вблизи линии [1].

Импульсы перенапряжений распространяются на значительные расстояния от места возникновения. Набегающие волны могут представлять опасность для электрооборудования подстанций, электрическая прочность которого ниже, чем у линейной изоляции.

Внутренние перенапряжения по длительности и по причине возникновения делятся на квазистационарные и коммутационные.

Квазистационарные перенапряжения продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические. Режимные перенапряжения возникают при несимметричных коротких замыканиях на землю, а также при разгоне генератора в случае резкого сброса нагрузки. Резонансные перенапряжения имеют место при возникновении резонансных эффектов в линиях (при одностороннем питании линии), в электрических цепях при наличии реакторов. Феррорезонансные перенапряжения возникают в цепях с катушками с насыщенным магнитопроводом, что может быть, как на частоте 50 Гц, так и на высших гармониках, и на субгармониках. Особенностью феррорезонанса является скачкообразный вход в режим резонанса (триггерный эффект).

Коммутационные перенапряжения возникают при переходных процессах и быстрых изменениях режима работы сети (при работе коммутационных аппаратов, при коротких замыканиях и при прочих резких изменениях режима) за счет энергии, запасенной в емкостных и индуктивных элементах. Наиболее часто такие перенапряжения имеют место при коммутациях линий, индуктивных элементов, конденсаторных батарей.

За весь период эксплуатации возможны следующие пробои изоляции (рис. 1.) [2]:

- импульсный, когда нарушение (разрушение) изоляции происходит в очень короткий период времени (микросекунды) при значительной амплитуде воздействующего напряжения (грозового или коммутационного характера) и без выделения тепла;
- электрический, когда амплитуда напряжения остается еще гораздо выше рабочей и время ее воздействия сравнимо с поляризационными явлениями в изоляции. а также отсутствует выделение тепла при пробое; тепловой пробой характерен явным выделением тепла или разогревом изоляции при амплитудах напряжения не выше испытательного;
- комбинированный – это пробой при длительном воздействии рабочего напряжения или частичных разрядов с явным электролитическим процессом и изменением структуры материала.

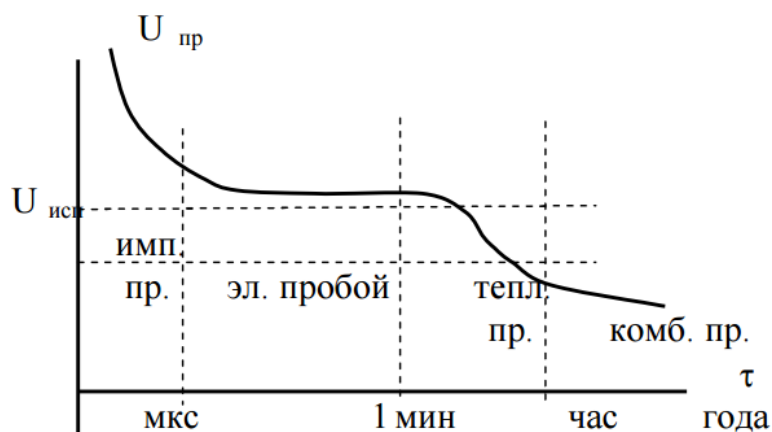


Рис. 1. Вольт-временная зависимость пробоя технического диэлектрика

В настоящее время для оценки электрической прочности сложной композиции существует, по теории Ю.Н. Вершинина, метод количественного энергетического анализа импульсной электрической прочности, или феноменологическая теория [2]. Метод основан на представлении физических процессов в разрядном промежутке, когда механизм электронно-дырочной проводимости приводит к возникновению области локального (сильного) поля с высокой напряженностью на расстоянии в несколько сот микрон от острия. Последнее искривляет энергетические зоны, создавая условия для туннельного перехода по направлению к острию основных носителей зарядов: электронов – к положительному острию и дырок – к отрицательному. Взаимодействие в процессе ударной ионизации электронов и дырок проводимости с электронами, участвующими в образовании химических связей, приводит к нарушению соответствующих связей и переходу по направлению к острию основных носителей зарядов: электронов – к положительному острию и дырок к отрицательному. Образование газовой плазмы рассматривается как термодинамический баланс энергии в диэлектрике. Причем критическая составляющая энергоносителей зарядов затрачивается на изменение внутренней энергии в единице объема диэлектрика A_e , в котором возникает начальный участок канала неполного пробоя. Это энергетический критерий пробоя диэлектрика. Импульсная электрическая прочность твердых диэлектриков:

$$U_{пр} = K_p K_r K(t,d) A_e^{1,1} \quad (1)$$

где

- K_p – коэффициент, учитывающий форму поля и полярность импульса; для положительного импульса в системе острие – плоскость $K_p = 1$, для отрицательного электрода стержня $K_p = 1,52$; для – шар-плоскость $K_p = 1,82$; $K_r = 0,75 + 0,5$;
- P – коэффициент вероятности пробоя;
- $K(t,d) = 3,55 d - 0,365 t - 0,11$ – коэффициент, зависящий от толщины диэлектрика (см) и времени воздействия напряжения (мкс);
- A_e – энергетическая удельная характеристика диэлектрика, ккал/см, индивидуальная для каждого вида, и находится с учетом физических свойств и особенностей молекулярного строения диэлектрика по зависимости:

$$A_e = (1,08 \gamma / M) (N_a + n W_{и min}), \quad (2)$$

где

- 1,08 – коэффициент перехода в плотную газовую плазму;
- γ – плотность диэлектрика, г/см³;
- M – молекулярный вес;

- N_a – суммарная энергия связей атомов в молекуле, ккал/моль;
- n – число атомов, обладающих минимальной энергией ионизации $W_{i \min}$.

Расчетная электрическая прочность по зависимости (1) хорошо согласуется с экспериментальными данными для исследуемого материала.

Все мероприятия по защите от перенапряжений делятся на две группы:

- превентивные меры снижения перенапряжений;
- защита оборудования с помощью коммутационных защитных средств.

Превентивные меры – это предотвращение возникновения перенапряжений или ограничение их величины в месте их возникновения.

К таким мерам относятся следующие меры:

- применение выключателей с шунтирующими резисторами;
- применение выключателей без повторных зажиганий дуги между контактами при их разведении;
- применение грозозащитных тросов и молниеотводов;
- заземление опор линий электропередачи;
- емкостная защита изоляции обмоток трансформаторов и реакторов;
- применение емкостных элементов для снижения перенапряжений.

Коммутационные средства защиты от перенапряжений срабатывают и соединяют защищаемую цепь с заземлением в случае, когда перенапряжение в точке их установки превышает некоторую критическую величину. К этим средствам относят разрядники, шунтирующие реакторы с искровым соединением и нелинейные ограничители перенапряжений.

Значительную роль в обеспечении надежной и безаварийной работы электрических сетей играют процессы координации и контроля изоляции.

В процессе эксплуатации на изоляцию воздействуют рабочее напряжение, внутреннее и внешнее перенапряжения. Выбор уровня (промежутка между электродами) изоляции электрооборудования электростанций и подстанций должен быть экономически оправдан.

Под координацией изоляции с точки зрения технико-экономических показателей понимают установление и поддержание соответствия между уровнем ее электрической прочности и уровнем амплитуды воздействующего напряжения после защитного разрядника [2, с. 111]. Установление и поддержание уровня изоляции электрооборудования основывается на многолетнем опыте его изготовления, эксплуатации и испытания на заводах и в энергосистемах. Уровень перенапряжения регистрируется в течение всего срока службы изоляции современными средствами защиты (разрядниками). Методическая и экспериментальная трудность получения результатов по вольт-секундным характеристикам (ВСХ) разрядников требуют при испытании большого числа дорогостоящих образцов изоляции электрооборудования, поэтому опубликованных данных по ВСХ разрядников мало. Чаще всего координация изоляции осуществляется с помощью следующего неравенства:

$$U_i > U_0, \quad (3)$$

где U_i – импульсная прочность изоляции, нижний предел которой определяется испытательным напряжением:

$$U_i = U_{\text{исп}} K_i^2, \quad (4)$$

где U_0 – остающееся напряжение сработавшего разрядника;

- K_i – коэффициент импульса изоляции.

В СНГ ГОСТ 1516.1-78 и 1516.2-78 устанавливает испытательные напряжения для оборудования каждого класса напряжения.

В США уровни изоляции не связываются с номинальным напряжением, а выбираются по многоступенчатой шкале в зависимости от защитных характеристик разрядников в данной точке сети, что позволяет гибко и экономично осуществлять выбор оборудования, с расширенной номенклатурой разрядников.

Качество технической изоляции определяется не только культурой производства, но и налаженной службой контроля или проверки соответствия качества изоляции ГОСТу или заводским нормам. Контроль за качеством изоляции на производстве при изготовлении и выпуске электрооборудования и профилактика изоляции в эксплуатации направлены на выявление ее дефектов с последующей заменой или восстановлением поврежденного изоляционного участка. Местные и общие дефекты в изоляционной конструкции. Местные дефекты сосредоточены на небольшом участке изоляции и проявляются в виде газовых (воздушных полостей) и металлических включений, примесей, а также в виде механических и технологических нарушений (микротрещин, заусениц, морщин, смещений слоев ленты, вмятин и т. п.). Общие дефекты наиболее распространены, среди них чаще обнаруживается проникающая влага в изоляцию, реже выявляются дефекты развитого газового включения (дырка) и проводящей примеси (металлическое включение). Разрушение изоляции в начале эксплуатации протекает медленно, а в конце - носит скачкообразный характер. Методы контроля за изоляцией - это разрушающие методы при испытании повышенным напряжением и метод обнаружения дефектов под воздействием напряжения ниже номинального уровня или рабочих напряжений без разрушения изоляции. Опыт применения профилактических испытаний высоковольтной изоляции сводится к повышению надежности изделий в работе или к снижению вероятностей отказов электрооборудования [2, 3].

Выводы

В процессе эксплуатации электрических сетей необходимо обеспечение комплекса работ по координации и контролю изоляции для снижения ущерба от перерыва электроснабжения. Понимание сложности и важности проблемы позволит специалистам проектировщикам, монтажникам, эксплуатационному персоналу обеспечить высокое качество работ по соответствующим методикам с учетом нормативно-технической документации и соответственно повышению.

Список использованной литературы:

1. Закарюкин В. П. Техника высоких напряжений: Конспект лекций. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. – 137 с.
2. Лифанов В. Н. Электроизоляция и перенапряжения: / Учеб. пособие. – Вл-к.: ДВГТУ, 2003. С. 12.
3. Кадомская К. П., Лавров Ю. А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

References:

1. Zakaryukin V. P. Tekhnika vysokikh napryazheniy. – Irkutsk: Irkutsk State University of Communications, 2005. – 137 p.
2. Lifanov V. N. Elektroizolyatsiya i perenapryazheniya: / Proc. allowance. –VL–K.: FESTU, 2003. P. 12.
3. Kadoma, K. P., Lavrov Yu. a., Reichardt A. Perenapryazheniya v elektricheskikh setyakh razlichnogo naznacheniya i zashchita ot nikh: Textbook. – Novosibirsk: Publishing house NSTU, 2004.

Принята до друку 10.12 2019