

Пакирдинов Рустам Рахматуллаевич – к.т.н., доцент,
Осмонов Аким Амирович – ст. преподаватель,
Амиров Нурбек Акимович – магистрант,
Осоров Ильяз Амирович – преподаватель,
Ошский технологический университет

СНИЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ФИЛЬТРОВ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ И ИОНИСТОРОВ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

В работе получены экспериментальные данные электромагнитных переходных процессов (уровня перенапряжений и токов) в СОПТ при применении различных фильтров ЗУ с использованием реального блока электромагнитного привода выключателя с дугowymi характеристиками на базе уравнений Майра и Касси вместо ключа.

Ключевые слова: РЗ, перенапряжения, ЭМПП, СОПТ, ионистор, блок выключателя, уравнение Майра и Касси.

Pakirdinov Rustam Rahmatullaevich – PhD, assoc. professor,
Osmonov Akim Amirovich - senior lecturer,
Amirov Nurbek Akimovich – graduate student,
Osorov Ilyas Amirovich – lecturer,
Osh technological university

THE REDUCTIVE EFFECT OF BATTERY CHARGER FILTERS AND SUPERCAPACITORS AGAINST ELECTROMAGNETIC TRANSIENT IN AUXILIARLY DC POWER SYSTEMS

In this paper, experimental data of electromagnetic transient (overvoltage and current level) in auxiliary DC power systems were received using different battery charger filters, real block of switches with arc model based on Cassie's & Mayr's equipments.

Key words: RP, overvoltage, EMPP, DCPS, super capacitor, switch block, Cassie's & Mayr's equipments.

Актуальность работы. В настоящее время благодаря новым рубежам развития и прогресса в области энергетики, на действующих рабочих подстанциях проводится активные замены устаревших электрооборудований на новых комплектных и усовершенствованных установок. Например, микропроцессорные релейные защиты, пришедшие вместо устаревшей релейной защиты на базе электромеханических реле, стали широко применяться и набирают популярность. Но, данные микропроцессорные устройства отличаются повышенной чувствительностью к электромагнитным помехам [1], к которым относятся коммутационные перенапряжения, возникающие в основном из-за электромагнитных переходных процессов при отключении коротких замыканий и электромагнитных приводов масляных выключателей. Согласно данным, приведенным в [2], 30% случаев нарушения работы электрооборудования электростанций и подстанций причиной, которые являются переходные процессы (коммутационные перенапряжения), могут привести к повреждению изоляции и потере нормальной работоспособности устройств защит. Один из стандартов организации ФСК [3] утверждает необходимости применения специальных устройств, для защиты от перенапряжений, в качестве которых рекомендуется использовать кремниевые диоды.

Однако они способны режектировать только перенапряжения между полюсом и землей. А варисторы, устройства защиты на базе нелинейных элементов, подвержены старению с последующим ухудшением защитных характеристик. В связи с этим еще рассматривают альтернативных вариантов снижения выбросов, в качестве которых можно взять емкости, являющиеся составной частью фильтров зарядных устройств и ионисторов. Возможность их использования рассматривалось в работе [4], которая основная цель этой работы была оценить снижающие действие фильтров зарядных устройств и ионисторов на перенапряжения при отключении коротких замыканий и индуктивных нагрузок. Для реализации, составили расчетные модели, сделанные в программной среде EMTP-RV, а коммутация электромагнитного привода выключателя производилась при помощи ключа в цепи привода и короткое замыкание моделировалось тоже при помощи замыкания ключа. Но, я считаю, что использование реального блока электромагнитного привода выключателя вместо ключа, даст еще точные прогнозы на снижение выбросов напряжения при переходных процессах. В этой работе рассматривалось влияющие действия электромагнитного привода выключателя постоянного тока на напряжения при отключении коротких замыканий и индуктивных нагрузок.

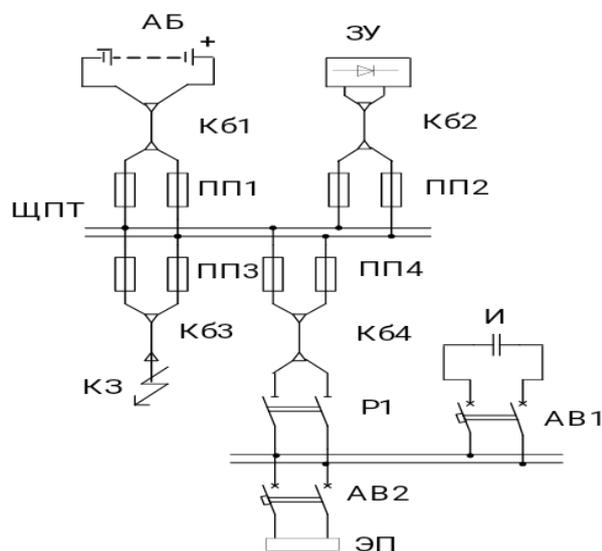


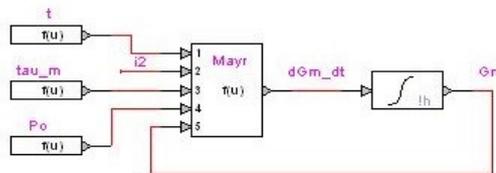
Рис. 1. Схема электроустановки

Описание расчетной модели. На рис. 1 представлена расчетная схема СОПТ. Основным источником питания в схеме является ЗУ, резервным – аккумуляторная батарея (АБ). АБ соединена с щитом постоянного тока (ЩПТ) кабельной линией К61, длиной 10 метров и сечением 185 мм². ЩПТ оборудован вводными и отходящими выключателями (Q1 – Q4). ЩПТ и электромагнитный привод (ЭП) соединены кабельной линией К64, длиной 100 метров, сечением 95 мм². Ионистор И, емкостью 1,4 Ф, подключен к клеммам ЭП. ЗУ, номинальным током 80 А и с емкостью фильтра 5180 мкФ, соединено с ЩПТ кабельной линией К62, длиной 20 метров и сечением 185 мм².

Схема замещения электроустановки и алгоритм реализации модели дуги, реализованная в программной среде EMTP-RV, представлена на рис. 2,3. АБ представлена в виде ЭДС и внутреннего активного сопротивления $R_{аб}$, соответствующего номинальной ёмкости аккумуляторов.

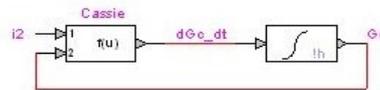
Проводимость дуги Майра
(малый ток)

$$G_m = \int \frac{1}{\tau_m} \left[\frac{i_b^2}{\rho_0} - G_m \right]$$

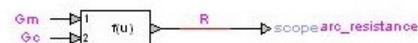


Проводимость дуги Касси
(Большой ток)

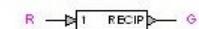
$$G_c = \int \frac{1}{\tau_c} \left[\frac{i_b^2}{U_c^2 G_c} - G_c \right]$$



Расчетное сопротивление дуги



Проводимость дуги



Расчетный квадратный ток дуги



Ветвь контролируемой проводимости

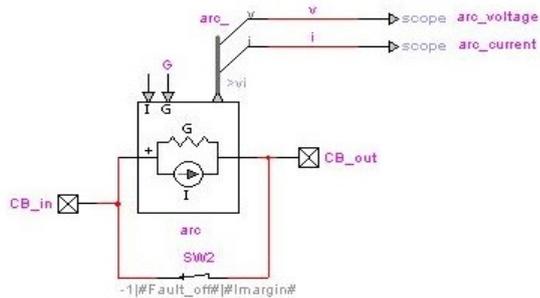


Рис. 2. Показано алгоритм реализации модели дуги в программе ЕМТР



Рис. 3. Схема замещения электроустановки

Кабельная линия от АБ до ЩПТ, представлена в виде активного сопротивления кабеля в положительном и отрицательном полюсах сети. Ионистор замещен идеальным конденсатором С. Коммутация электромагнитного привода выключателя производилась при помощи модели блока выключателя с дугой в цепи привода. Короткое замыкание моделировалось при помощи замыкания ключа. При проведении расчетов учитывалось все характеристики электрической дуги [5,6]: постоянная времени Майера $\tau_{a_m} = 2$ мкр; постоянная времени Касси $\tau_{a_c} = 1,3$ мкр; отводимая тепловая мощность дуги $P_{o} = 900$ кВт; постоянная напряжения Касси $U_c = 300$ В

Расчет производился на интервале времени 1 с в течение, которого происходило включение катушки включения выключателя и через 1 с ее отключение (происходило короткое замыкание в начале отходящей от ЩПТ кабельной линии КБ3). Интегрирование дифференциальных уравнений модели производилось методом Рунге-

Кутты. Шаг интегрирования составил 10 мкс. Исследовались следующие режимные параметры электроустановки: напряжение на клеммах привода; напряжение на ЩПТ

Верификация модели произведена оценкой расхождений в осциллограммах напряжения с приведенными в [7,8].

Результаты исследования. На рис. 4,5. представлены кривые изменения напряжения на клеммах ЩПТ при коротком замыкании на отходящей от ЩПТ кабельной линии КБЗ и отключении его ключом и выключателем Q3, при питании от ЗУ без фильтра.

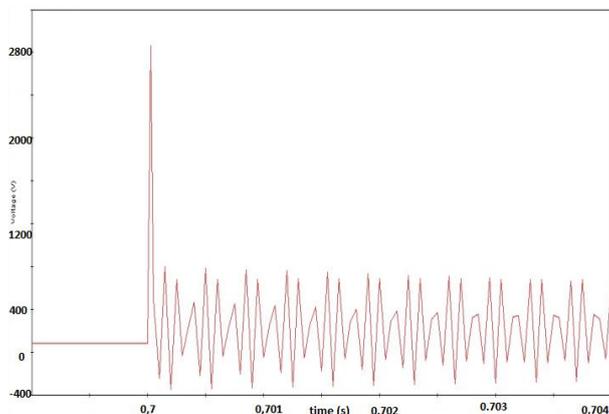


Рис. 4. Напряжение на ЩПТ при коротком замыкании на КБЗ при питании от ЗУ без фильтра при отключении ключом

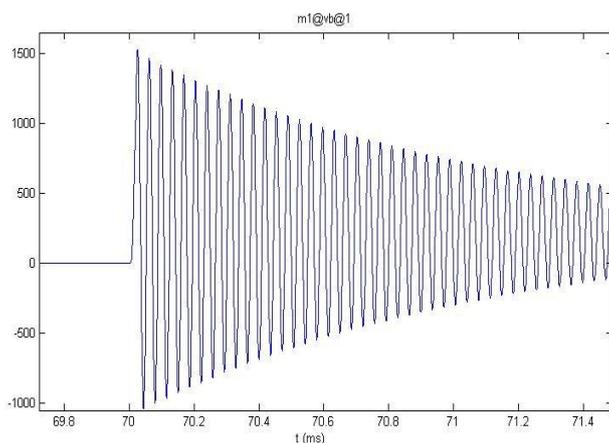


Рис. 5. Напряжение на ЩПТ при коротком замыкании на КБЗ при питании от ЗУ без фильтра при отключении блоком выключателя

На расчетной кривой напряжения видно, что в 0,5с происходит короткое замыкание, а в 0,7с короткое замыкание отключается. Напряжение на ЩПТ в процессе отключения короткого замыкания с помощью ключом достигает 2870 В, что превышает максимально допустимое напряжение 2000 В, [9] для микросекундных импульсных помех. А с помощью блока выключателя с дугowymi характеристиками достигает 1500 В, что не превышает допустимого значения, но возможно износа изоляции и нагрева оборудования.

Расчетная кривая напряжения при коротком замыкании на отходящей от ЩПТ кабельной линии КБЗ и отключении его ключом и выключателем Q3, при питании от ЗУ с конденсатором фильтра емкостью 5180 мкФ, представлены на рис. 6,7.

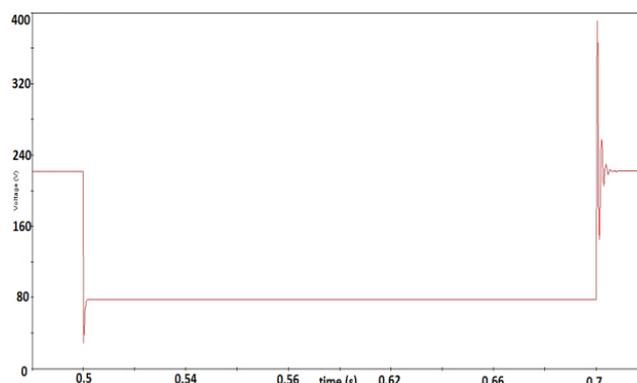


Рис. 6. Напряжение на ЩПТ при коротком замыкании на КБЗ при питании от ЗУ с фильтром емкостью 5180 мкФ при отключении ключом

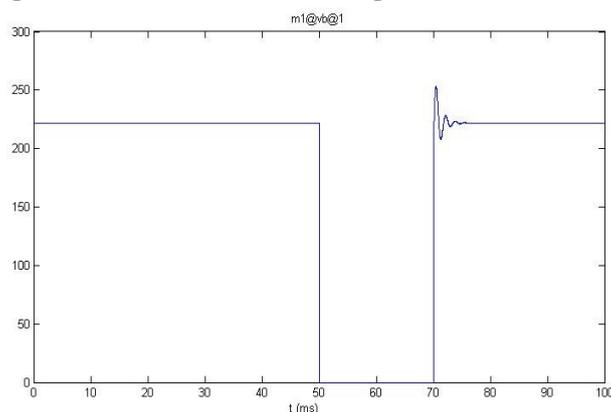


Рис. 7. Напряжение на ЩПТ при коротком замыкании на КБЗ при питании от ЗУ с фильтром емкостью 5180 мкФ при отключении блоком выключателя

На расчетной кривой напряжения видно, что в 0,5 с происходит короткое замыкание, а в 0,7с короткое замыкание отключается. Напряжение на ЩПТ в процессе отключения короткого замыкания с помощью ключа достигает 390 В, а с помощью блока выключателя достигает 253 В, за счет емкости конденсатора фильтра, что не превышает максимально допустимое напряжение.

При отключении электромагнитного привода, возникают электромагнитный переходной процесс (перенапряжения), существенно превышающие значения при коротких замыканиях. Это обуславливается тем, что индуктивность приводов масляных выключателей, может достигать сотен мГн. Также по мере удаления источника переходных процессов от фильтра его снижающее действие на выбросы ослабляется. Поэтому для их снижения при коммутации приводов наиболее целесообразно применение ионисторов. Модель представлена на рис. 8. Привод выключателя представлен в виде резистора сопротивлением 0,1 Ом и индуктивности значением 120 мГн.

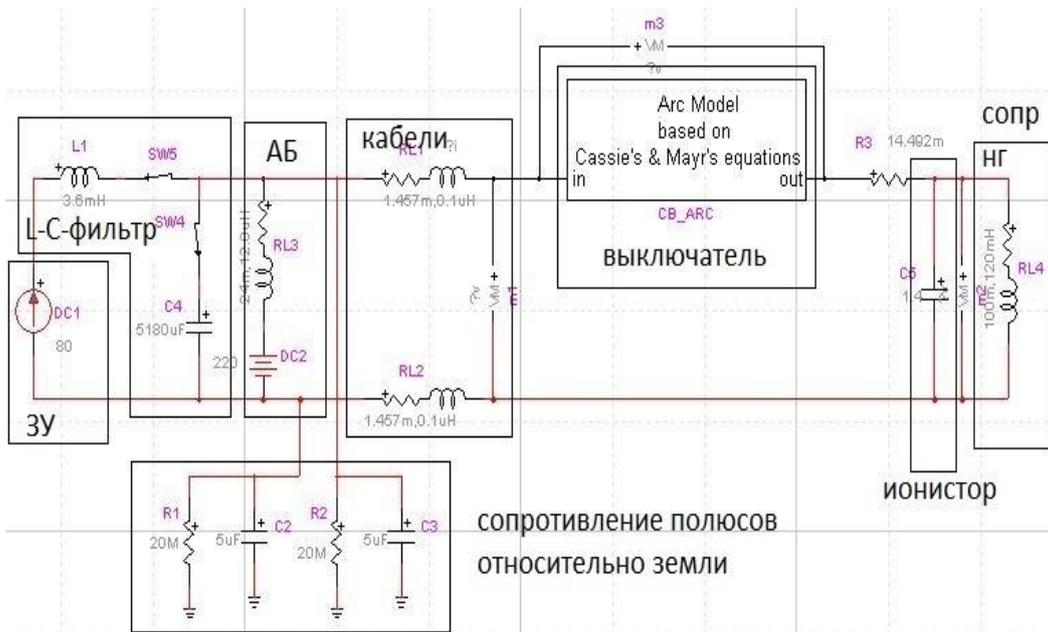


Рис. 8. Математическая модель участка СОПТ с ионистором и блоком выключателя

На рис. 9,10. представлены расчетные кривые изменения напряжения на клеммах ЩПТ при отключении электромагнитного привода ЭП с ключом и блоком выключателя, при питании от ЗУ без фильтра. Привод выключателя представлен в виде резистора сопротивлением 0,1 Ом и индуктивности значением 120 мГн.

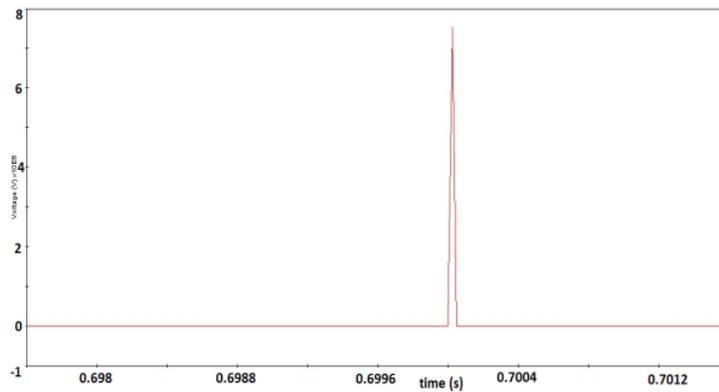


Рис. 9. Напряжение на клеммах электромагнитного привода при отключении, питание от ЗУ без фильтра при отключении ключом

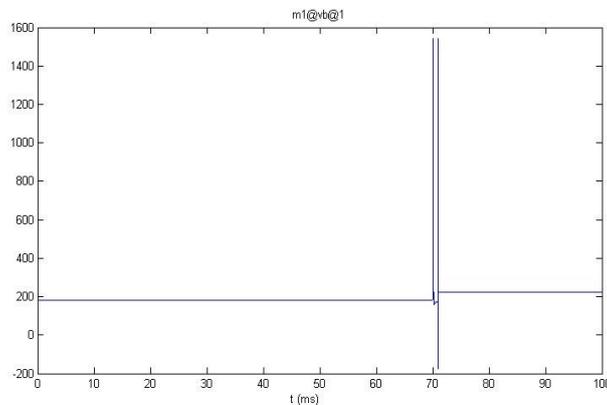


Рис. 10. Напряжение на клеммах электромагнитного привода при отключении, питание от ЗУ без фильтра при отключении блоком выключателя

На расчетной кривой напряжения видно, что в 0,7с происходит отключение привода. Напряжение на клеммах привода в процессе отключения достигает 70000 В, за счет идеальности ключа и большой индуктивности привода, что серьезно превышает максимально допустимое напряжение 2000 В, [9] для микросекундных импульсных помех. А с помощью блока выключателя достигает 1600 В, что не превышает допустимое, но возможны нагревы изоляции и постепенного ухудшения изоляции.

На рис. 11,12. представлены кривые изменения напряжения на клеммах ЭП при его отключении с помощью ключом и блоком выключателя, при питании от АБ и работе ионисторов.

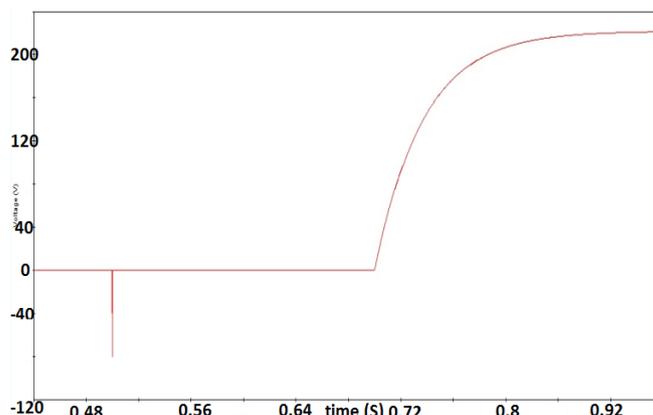


Рис. 11. Напряжение на клеммах электромагнитного привода при его отключении с использованием ионистора в СОПТ при отключении ключом

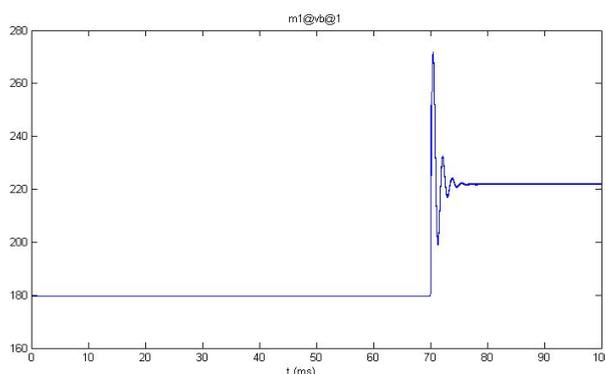


Рис. 12. Напряжение на клеммах электромагнитного привода при его отключении с использованием ионистора в СОПТ при блоком выключателя

На расчетной кривой напряжения видно, что в 0,5с происходит отключение привода, а в 0,7с привод отключается. Перенапряжение на клеммах привода в процессе отключения не превышает 240 В, из-за существенно большей емкости ионистора, а, следовательно, и снижающего эффекта, по сравнению с фильтром зарядного устройства. А при отключении с блоком выключателя перенапряжение на клеммах привода достигает до 272 В.

Заключение: Разработан и смоделирован реальный блок электромагнитного привода выключателя с характеристикой, которые были определены с помощью уравнений Касси и Майера в программной среде EMTP-RV. При помощи моделирования в EMTP-RV были определены возможные электромагнитные переходные процессы, кратности перенапряжения в системе оперативного постоянного тока подстанции. Также, произведена верификация модели оценкой расхождений в осциллограммах напряжения с приведенными в [4]. Уровень полученных перенапряжений превышает допустимое [9] значение для дискретных входов

микропроцессорных релейных защит на 40%, а при установке модели блока выключателя, уровень перенапряжений не превышает, но возможен нагрев изоляции и выход из строя оборудования, так как полученные значения ближе к допустимому.

Также результаты исследования показали, что модель блока выключателя с дугой, достаточно влияет при режектировании амплитуду перенапряжения.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке методики моделирования выключателей постоянного тока и места их подключения. Так же возможна оценка блока выключателя с дугой на электромагнитных переходных процессах, в частности на выбросов напряжения при отключении коротких замыканий в системе оперативного постоянного тока.

Литература:

1. **Гусев, Ю.П.** Предотвращение срабатываний дискретных входов микропроцессорных релейных защит при замыканиях на землю в системах оперативного постоянного тока. // Известия ВУЗов. Электромеханика [Текст] / Ю.В. Монаков // М. 2013. - №1. – С.81-83.
2. **Matsumoto T.** Experience of Numerical Protective Relays Operating in an Environment with High-Frequency Switching Surge in Japan.// IEEE Transactions on Power Delivery [Текст] / Kurosawa Y, Usui M, Yamashita K, Tanaka T. //М.2006. - №.1. – pp.88-93.
3. СТО 56947007 – 29.120.40041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.
4. **CIGRE WG.** Applications of Black Box Modelling to Circuit Breakers // 41-71 Научнаябиблиотекадиссертацийиавторепфератов [Текст] // 13.01, 1993, Electra no.149.
5. **Idarraga G.** Analysis of Arcing Fault Models / Ospina D. Cubillosi L. Ibanez.
6. **KularatnaN.** Energy Storage Devices for Electronic Systems: Rechargeable Batteries and Supercapacitors.// New Zealand: School of Engineering, The University of Waikato Hamilton // 2014, 320 p.
7. **Peterlin U.M.** Electromagnetic compatibility levels in power plants and substations. // IEEEInternationalSymposiumonElectromagneticCompatibility [Текст] / Zivic T. // 2015, pp.266-270.
8. **Тимонин И.А.** Сравнение эффективности и выбор устройств защиты от перенапряжений в системе оперативного постоянного тока.// Интернет-журнал «Науковедение» [Текст] / Ю.П. Гусев // М. 2013.
9. IEC 61000-6-5:2015. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 6-5: Immunity for equipment used in power station and substation environment.