

Ивановский государственный энергетический университет
Кафедра «Автоматическое управление ЭЭС»



РЕЖИМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-35 кВ

Режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ и надежность электроснабжения потребителей

Через распределительные сети среднего напряжения 6-35 кВ распределяется до 50% вырабатываемой в России электроэнергии. Поэтому надежность электроснабжения потребителей в значительной мере определяется эксплуатационной надежностью указанных распределительных сетей.

Основным видом электрических повреждений в сетях среднего напряжения являются ОЗЗ.

Режимы заземления нейтрали сетей среднего напряжения мере определяют характер происходящих при ОЗЗ переходных и установившихся электромагнитных процессов, уровни внутренних перенапряжений, условия электробезопасности эксплуатационного персонала, принципы, сложность выполнения и способы действия устройств защиты от замыканий на землю.

В целях повышения надежности электроснабжения потребителей в сетях среднего напряжения, как правило, применяются режимы нейтрали, обеспечивающие малые токи ОЗЗ.

Требования нормативных документов к режимам заземления нейтрали сетей 2-35 кВ

В соответствии с п. 1.2.16 ПУЭ «Работа электрических сетей напряжением 2–35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор».

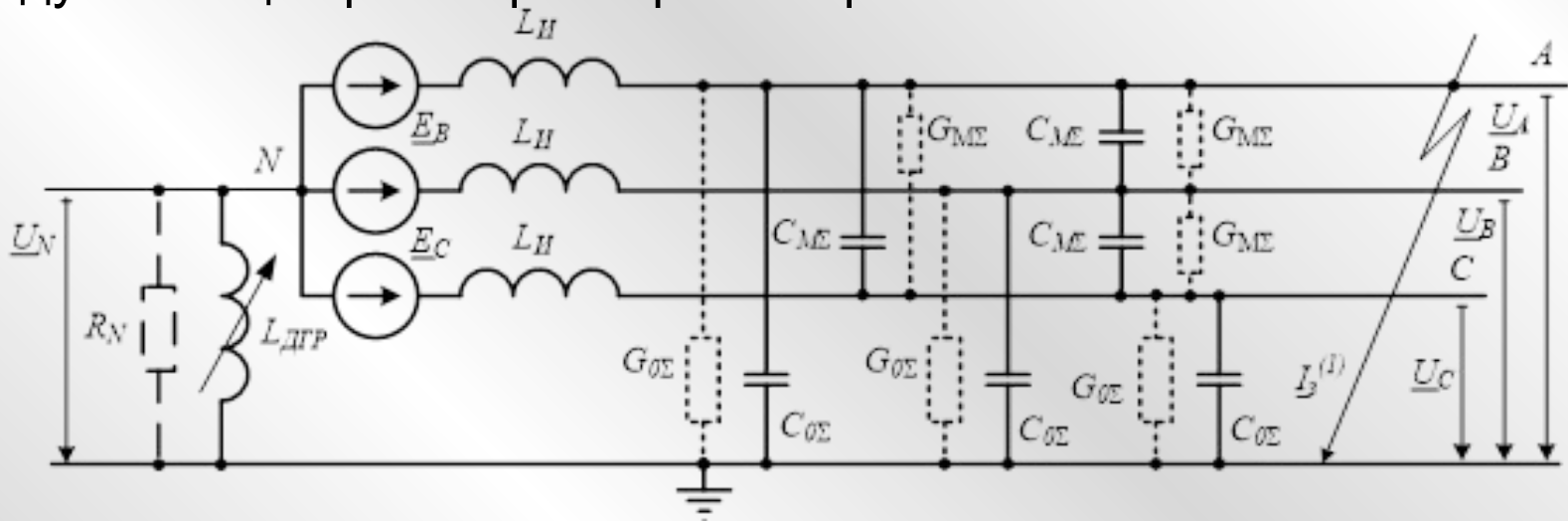


Рис. 1 – Режимы заземления нейтрали электрических сетей 6-35 кВ

Режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ, получившие практическое применение в России

1. Изолированная нейтраль
2. Резонансное заземление нейтрали через ДГР (компенсация емкостного тока ОЗЗ основной частоты)
3. Заземление нейтрали через постоянно подключенный высокоомный резистор (высокоомное резистивное заземление нейтрали)
4. Заземление нейтрали через постоянно подключенный низкоомный резистор (низкоомное резистивное заземление нейтрали)
5. Заземление нейтрали через кратковременно подключаемый низкоомный резистор (кратковременное низкоомное резистивное заземление нейтрали)
6. Частичное резистивное заземление нейтрали
7. Комбинированное заземление нейтрали через резонансно настроенный ДГР и параллельно подключенный высокоомный резистор
8. Комбинированное заземление нейтрали через резонансно настроенный ДГР и кратковременно подключаемый параллельно низкоомный резистор

Нормативные документы, определяющие требования к режимам заземления нейтрали электрических сетей среднего напряжения

1. Правила устройства электроустановок (п. 1.2.16).
2. Стандарты организаций и предприятий (СТО и СТП)
3. Эксплуатационные циркуляры Минэнерго и Росатомэнерго

Классификация режимов заземления нейтрали электрических сетей среднего напряжения

1. Режимы, обеспечивающие возможность работы сети с ОЗЗ в течение длительного времени и, соответственно, действия защиты от ОЗЗ на сигнал.
2. Режимы, не допускающие работу сети с ОЗЗ в течение длительного времени и требующие действия защиты от ОЗЗ на отключение.

Способ действия защиты от ОЗЗ (сигнал, отключение)

Действие защиты от ОЗЗ на отключение представляется необходимым или целесообразным **при любом режиме заземления нейтрали** в следующих случаях:

- на всех элементах, внезапное отключение которых не приводит к нарушению электроснабжения и технологического процесса у потребителей (например, при наличии резерва);
- в электроустановках, где отключение ОЗЗ необходимо по требованиям электробезопасности;
- на генераторах, мощных электродвигателях и в других случаях, когда ожидаемый ущерб от внезапного отключения поврежденного элемента меньше, чем ущерб от последствий длительного протекания тока ОЗЗ или перехода замыкания в КЗ (например, пожары в кабельных тоннелях вследствие дуговых перемежающихся ОЗЗ, повреждения генераторов и электродвигателей, приводящие к длительному ремонту и простоям технологического оборудования и др.).

Изолированная нейтраль и область ее применения

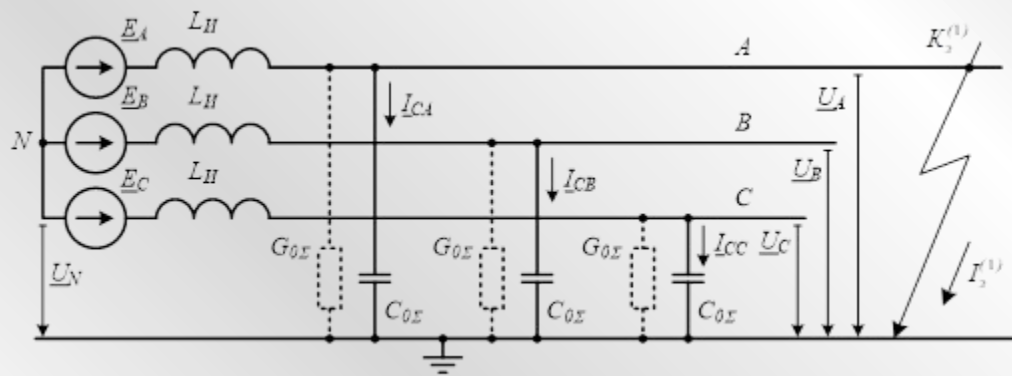


Рис. 2 – Схема замещения сети с изолированной нейтралью

$$I_{\Sigma}^{(1)} = I_{C\Sigma} = 3\omega C_{0\Sigma} U_{\phi} \quad (1)$$

По требованиям ПУЭ изолированная нейтраль может применяться при значениях тока $I_{C\Sigma}$ в нормальных режимах:

- в сетях напряжением 3–20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ – не более 10 А;
- в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи:
 - не более 30 А при напряжении 3–6 кВ;
 - не более 20 А при напряжении 10 кВ;
 - не более 15 А при напряжении 15–20 кВ;
- в схемах генераторного напряжения 6–20 кВ блоков генератор-трансформатор – не более 5А.

Основные достоинства и недостатки изолированной нейтрали

Достоинства:

- возможность работы сети с ОЗЗ в течение ограниченного времени до принятия мер по безаварийному отключению поврежденного элемента;
- не требуются дополнительная аппаратура и затраты на заземление нейтрали;
- простое (в большинстве случаев) решение проблемы защиты и селективной сигнализации устойчивых ОЗЗ

Недостатки:

- высокая вероятность возникновения дуговых перемежающихся ОЗЗ, сопровождающихся опасными для сети перенапряжениями и увеличением действующего значения тока в поврежденном элементе;
- сложность обеспечения высокой устойчивости функционирования токовых защит от ОЗЗ при дуговых перемежающихся ОЗЗ;
- ограничения по величине суммарного емкостного тока I_c на развитие сети;
- высокая степень опасности для человека и животных, находящихся вблизи места ОЗЗ.

Дуговое перемежающееся ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью

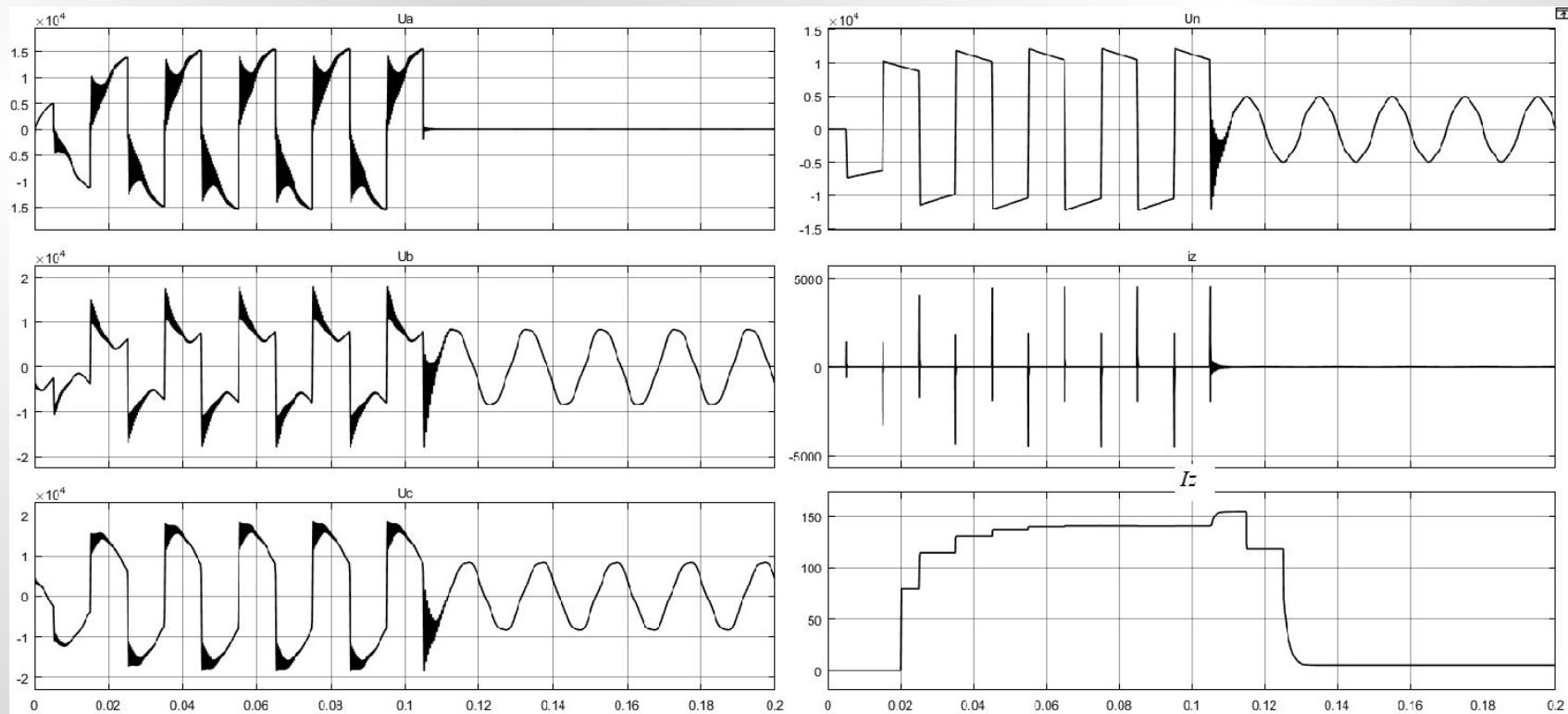


Рис. 3. Напряжения и ток в месте повреждения при ОЗЗ в сети с $I_c = 5$ А через перемежающуюся дугу по теории W. Petersen ($\Delta t = 10$ мс)

Дуговое прерывистое ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью

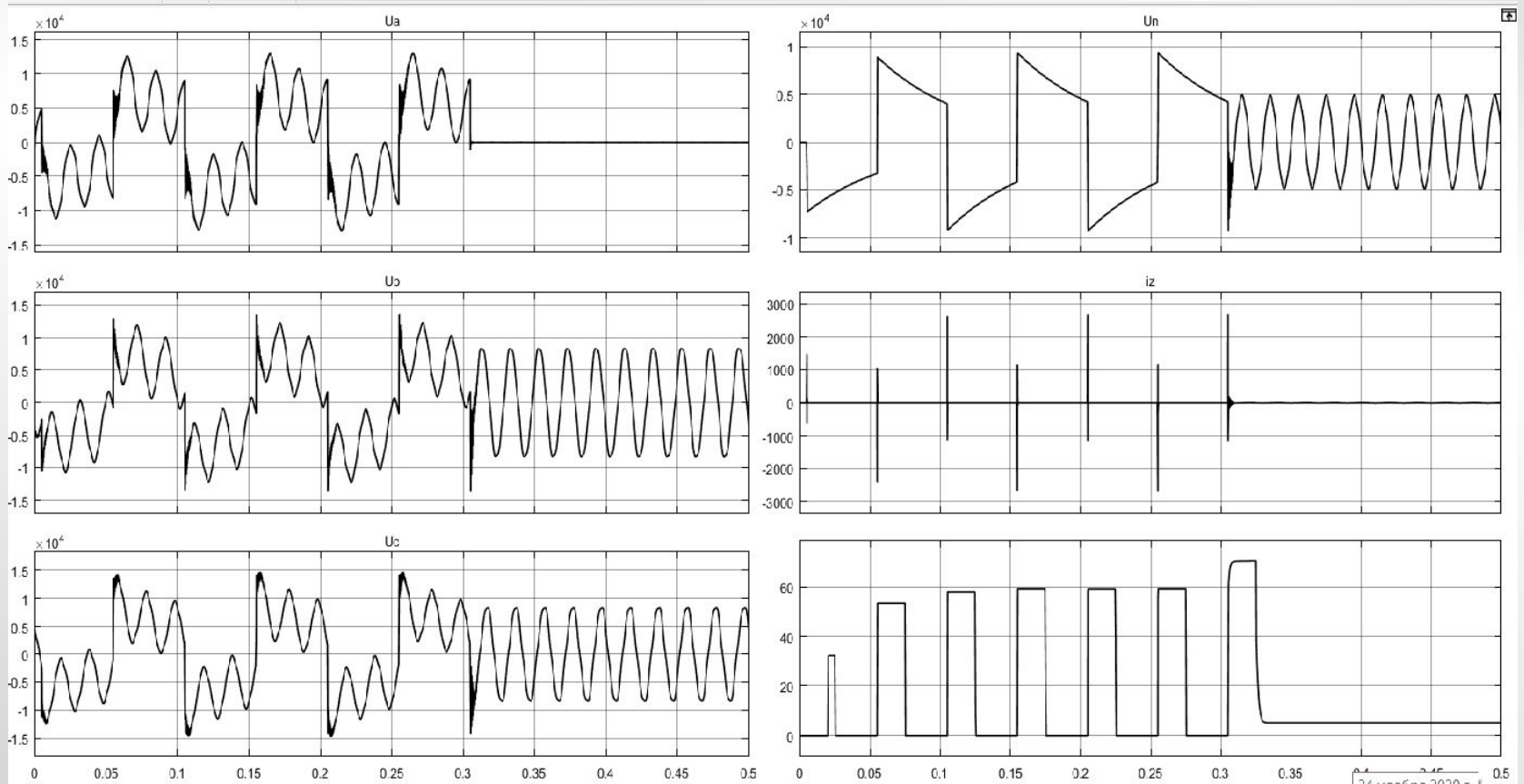


Рис. 3. Напряжения и ток в месте повреждения при ОЗЗ в сети с $I_c = 5$ А через перемежающуюся дугу при $\Delta t = 50$ мс

Резонансное заземление нейтрали через ДГР

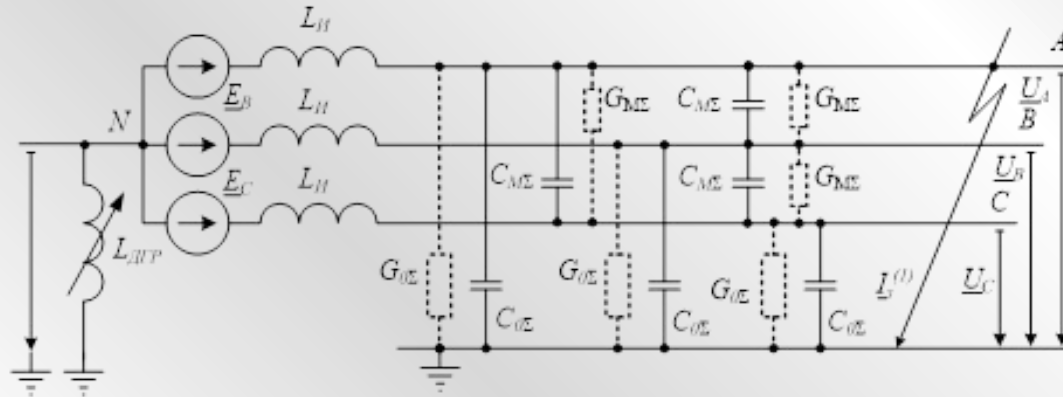


Рис. 4 – Схема замещения сети с заземлением нейтрали через ДГР

Условие резонансной настройки компенсации

$$\omega L_{ДГР} = \frac{1}{3\omega C_{0\Sigma}} \quad (2)$$

Ток в месте ОЗЗ

$$I_3^{(1)} = \sqrt{I_{a\Sigma}^2 + \sum I_v^2} = \sqrt{(3G_{0\Sigma}U_\phi)^2 + \sum I_v^2} \quad (3)$$

Ограничение перенапряжений при резонансной настройке ДГР

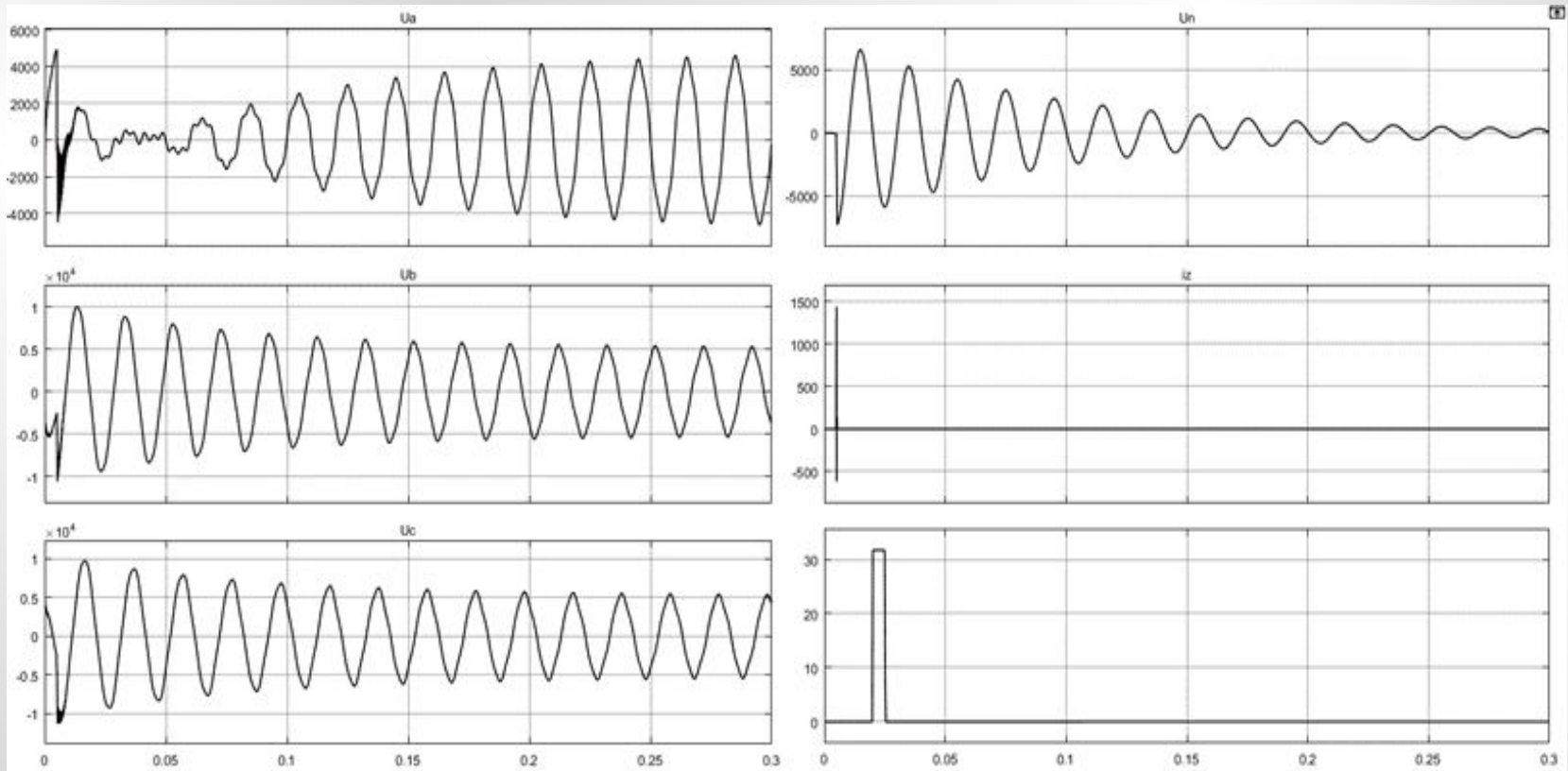


Рис. 5 – Восстановление напряжения на поврежденной фазе при резонансной настройке ДГР

Основные достоинства и недостатки компенсации емкостного тока основной частоты

Достоинства:

- возможность работы сети с ОЗЗ в течение ограниченного времени до принятия мер по безаварийному отключению поврежденного элемента;
- значительное уменьшение тока в месте повреждения;
- значительное снижение скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе после гашения заземляющей дуги;
- уменьшение кратности перенапряжений на неповрежденных фазах по сравнению до значений $2,2-2,5U_{ф.m}$;

Недостатки

- большая часть ОЗЗ затраты на заземление нейтрали через ДГР и устройства для автоматического управления настройкой компенсации;
- трудности с решением проблемы селективной защиты от ОЗЗ;
- невозможность скомпенсировать (без специальных устройств) в месте повреждения активную составляющую и высшие гармоники;
- кумулятивное накопления мест ослабленной изоляции после кратковременных самоустранившихся пробоев

Комбинированное заземление нейтрали через ДГР и высокоомный резистор

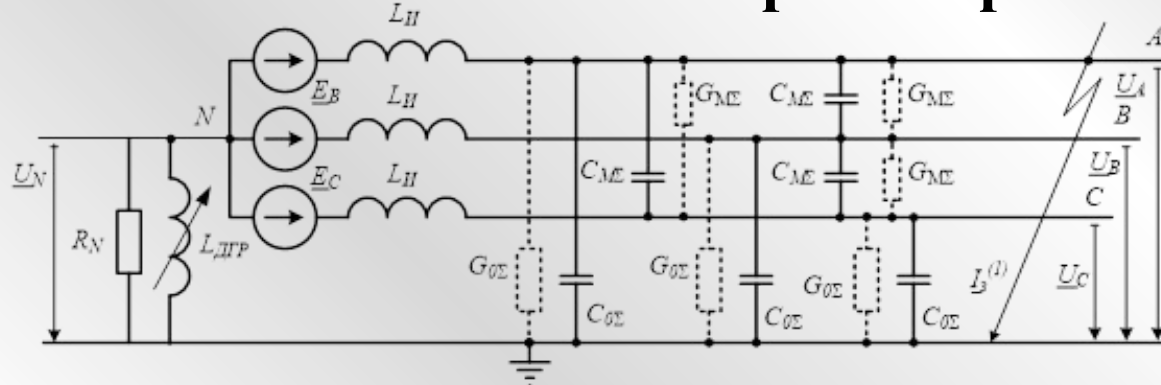


Рис. 6 – Схема замещения сети с комбинированным заземлением нейтрали через ДГР и высокоомный резистор

Значение сопротивления заземляющего резистора R_N , позволяющего устранить биения, выбирается из соотношения

$$R_N^* = U_{\Phi} / \Delta I, \quad (4)$$

где ΔI – ток расстройки ДГР.

Значительно более широкое применение в европейских и ряде других стран получило комбинированное заземление нейтрали с кратковременно подключаемым параллельно ДГР низкоомным резистором

$$R_N \leq \frac{U_{\Phi}}{K_{ч.мин} I_{0 с.з.макс}} \approx \frac{U_{\Phi}}{(2-3) I_{C собс.макс}} \quad (5)$$

Высокоомное резистивное заземление нейтрали

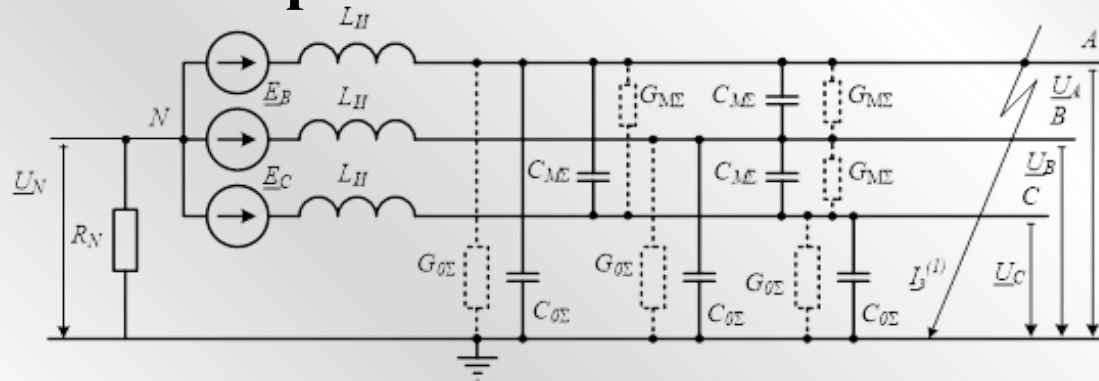


Рис. 7 – Схема замещения сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали

При высокоомном заземлении нейтрали сопротивление R_N заземляющего резистора выбирается из условия

$$R_N = (1-2)X_{C\Sigma} = (1-2) \frac{1}{3\omega C_{0\Sigma}} \quad (6)$$

Ток ОЗЗ при $R_N =$

$$X_C \quad I_3^{(1)} = \sqrt{I_R^2 + I_{C\Sigma}^2} \approx \sqrt{2}I_{C\Sigma} \quad (7)$$

При выборе сопротивления заземляющего резистора из условия (6) эффект накопления зарядов на фазах сети при дуговом перемежающемся ОЗЗ сводится к минимуму, и перенапряжения на неповрежденных фазах при повторных зажиганиях дуги не превышают значений $(2,4- 2,5)U_{ф.н}$.

Дуговое прерывистое ОЗЗ в сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали

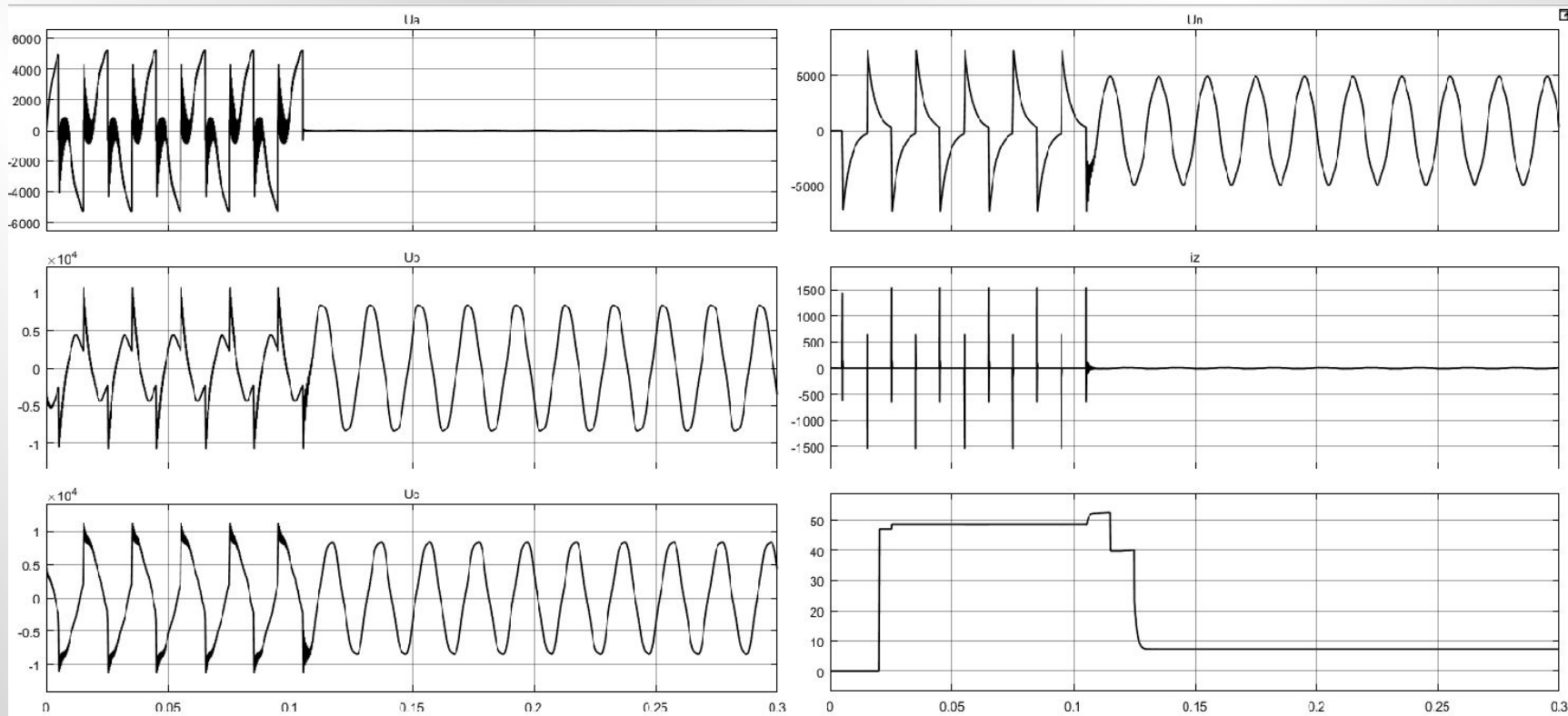


Рис. 8. Перенапряжения при дуговом ОЗЗ в сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали

Основные достоинства и недостатки высокоомного резистивного заземления нейтрали

Достоинства:

- возможность работы сети с ОЗЗ до принятия мер по безаварийному отключению поврежденного элемента (при ограниченных значениях тока I_c);
- уменьшение кратности перенапряжений на неповрежденных фазах по сравнению до значений $(2,4-2,5)U_{ф.н}$;
- упрощение решения проблемы защиты и сигнализации ОЗЗ на основе токовых защит.

Недостатки:

- дополнительные затраты на заземление нейтрали сети через резистор;
- увеличение тока ОЗЗ;
- ограничения на развитие сети по величине I_c ;
- большая мощность заземляющего резистора (десятки киловатт) .

Низкоомное резистивное заземление нейтрали

При низкоомном заземлении нейтрали минимальное значение активного тока, создаваемого резистором R_N в месте ОЗЗ, выбирается из двух условий:

- * обеспечения устойчивости функционирования (чувствительности) простых токовых защит нулевой последовательности от ОЗЗ во всех режимах работы сети;
- * полного исключения возможности возникновения наиболее опасных дуговых перемежающихся ОЗЗ.

Первое условие выполняется при сопротивлении резистора

$$R_N \leq \frac{U_\phi}{K_{ч.мин} I_{0 с.з.макс}} \approx \frac{U_\phi}{(2-3) I_{C собс.макс}} \quad (8)$$

Для исключения возможности возникновения дуговых перемежающихся ОЗЗ минимальное значение тока замыкания в европейских странах принимается не меньшим 100 А.

Ток ОЗЗ в сетях с низкоомным резистивным заземлением нейтрали, как правило, с достаточной точностью определяется по выражению

$$I_3^{(1)} = \sqrt{I_R^2 + I_{C\Sigma}^2} \approx I_R = U_\phi / R_N \quad (9)$$

Основные достоинства и недостатки низкоомного резистивного заземления нейтрали

Достоинства:

- практически исключается возможность возникновения дкговых перемежающихся ОЗЗ и дальнейшего развития повреждения, например, перехода ОЗЗ в двойное замыкание на землю или междуфазное КЗ;
- простое решение проблемы защиты от ОЗЗ;
- дополнительные затраты на заземление нейтрали сети через резистор;
- невозможность работы сети с ОЗЗ;
- увеличение числа отключений оборудования и линий из-за переходов кратковременных самоустраняющихся (при других режимах заземления нейтрали) пробоев изоляции в полные (завершенные) пробои и снижения этого надежности электроснабжения потребителей.

Основная область применения в России – кабельные сети 20 и 35 кВ с кабелями и СПЭ.

Частичное заземление нейтрали

Частичное заземление нейтрали – частный случай низкоомного резистивного заземления нейтрали, при котором сопротивление заземляющего резистора R_n выбирается из условия обеспечения требуемой чувствительности токовых защит от ОЗЗ (или требуемой величины защищаемой зоны, например, доли витков обмотки статора электродвигателей).



Спасибо за внимание!