

Ариф М. Гашимов, Талат Р. Мехтиев, Нармин Р. Бабаева

ВОЗМОЖНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНОЗАВИСИМОГО РЕЗИСТОРА

Институт Физики Национальной Академии Наук Азербайджана

Изготовлен и исследован резистор для защиты устройств электротехнического оборудования от высокочастотных перенапряжений.

Ключевые слова: скин-эффект, частотно-зависимый резистор, ферромагнитные материалы, высокочастотное перенапряжения, импульсные помехи.

Высокочастотные и сверхвысокочастотные перенапряжения, возникающие в энергетических системах, в особо тяжелых случаях могут приводить к пробоям электрической изоляции, выходу из строя систем коммутации и электротехнического оборудования.

Высокочастотные перенапряжения на оборудовании подстанций возникают в результате перезарядки емкостей шин распределительных устройств при электрических пробоях изоляционных промежутков, во время аварий, аварийных и эксплуатационных коммутаций; при работе короткозамыкателей; начальные моменты коротких замыканий; электрических пробоях межконтактных промежутков высоковольтных выключателей; срабатывание искровых промежутков при коммутациях разъединителями холостых участков шин и маломощных аппаратов, шин ячеек выключателей, обходной систем шин, ячеек трансформаторов напряжения, разрядников и т.д. [1].

Наибольшими перенапряжениями и наибольшим числом опасных воздействий на оборудование распределительных устройств сопровождаются эксплуатационные коммутации разъединителями холостых участков шин и маломощных аппаратов. Каждая такая операция сопровождается многократными пробоями промежутка между расходящимися контактами.

Несмотря на огромное количество разработанных методов, и устройств, решение этой проблемы было и остается актуальным.

Работа [2] посвящена решению про-

блемы ограничения перенапряжений при коммутациях разъединителями и изменению характера процесса с помощью, вводимых в коммутирующую цепь, резисторов на время коммутации.

Рассмотрены возможность и перспективность ограничения высокочастотных перенапряжений при коммутациях с помощью резистора, сопротивление которого зависит от частоты.

Частотная зависимость сопротивления резистора является следствием скин-эффекта. Как известно, скин-эффект в токопроводящих элементах проявляется в том, что большая центральная часть их не участвует в переносе электрических зарядов.

Оценка по соотношению $L \sim c / (8\pi\mu\lambda\nu)^{1/2}$ Гц для меди с постоянными $\lambda=5,4 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1}$, $\mu=1$, при $\nu=50$ Гц дает $L \sim 1$ см, а при $\nu=5 \cdot 10^5$ Гц - $L \sim 0,01$ см; перераспределение переменного тока по сечению провода приводит к тому, что сопротивление провода увеличивается, а его индуктивность уменьшается.

Частотный эффект достигается не только за счет уменьшения сечения протекания тока, но и за счет удельного сопротивления материала, уменьшение эффективной электропроводности приводит к изменению скин слоя.

При частоте переменного тока 50 Гц сопротивление медного провода диаметром 2 см по сравнению с сопротивлением постоянному току увеличивается примерно на 3 %, а для проволоки диаметром 2 мм – всего

на 0,0003 %. Для токов с частотой 10^6 Гц и провода диаметром 2 мм сопротивление увеличивается почти в 7 раз. Это вызывает повышенное сопротивление проводника электрическому току и увеличивает рассеяние тепловой энергии в проводнике, а также приводит к перераспределению электронов в проводнике от центра к поверхности. Как следствие, возникает «паразитная» электромагнитная волна, направленная от центра токопроводящего элемента к его поверхности, вызывающая нелинейные и частотно-фазовые искажения проходящего сигнала. Отрицательное действие скин-эффекта усугубляется тем, что возникающие в результате коррозии на поверхности проводника химические соединения металла токопроводящего слоя, обладая диэлектрическими и полупроводниковыми свойствами, препятствуют прохождению электрического тока.

Рассмотрено применение частотнозависимого резистора, изготовленного с использованием композиции проводящего и непроводящего ферромагнитных материалов рис.1 и на рис.2,3 изменение его параметров r , L от частоты.



Рис. 1. Резистор с подавлением высокочастотных компонент для защиты устройств электротехнического оборудования.

Параметры частотнозависимого резистора вычисляются по формулам, изложенным в [3].

Частотнозависимый резистор должен включаться последовательно с защищаемым объектом. Расчетная схема представлена на рис.4., где z_0 – эквивалентное волновое сопротивление отходящих от шин линий; r_T , l_T – параметры источника, l_1 , l_2 , l_3 , l_4 – длины

ненагруженных шин. Принятые положительные направления тока и ЭДС показаны на рис.4.

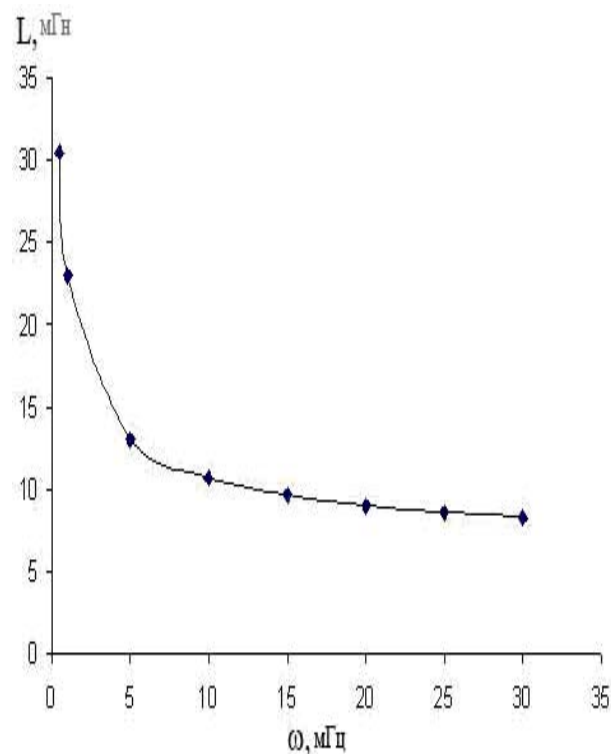


Рис.2. Зависимость L от частоты.

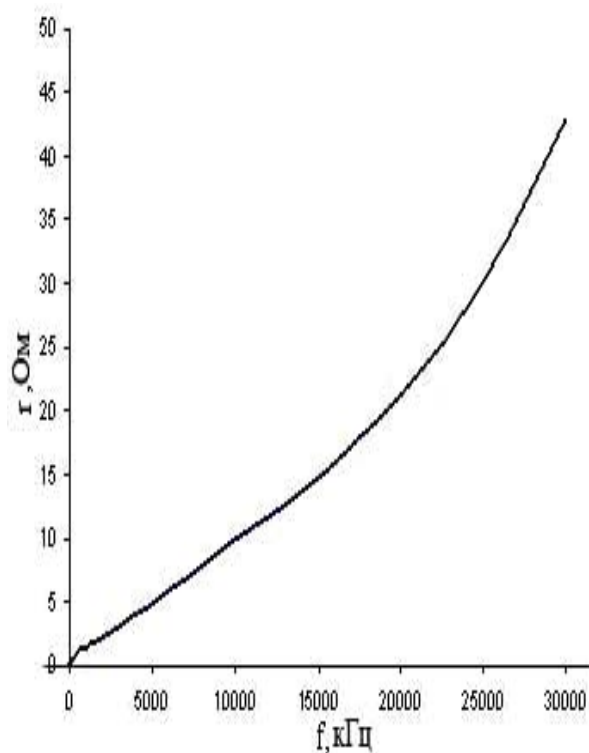


Рис.3. Частотная зависимость сопротивления изготовленного резистора.

процессов линиях с распределенными параметрами [4].

Расчетная схема с учетом модели час-

тотнозависимого резистора показана на рис.5.

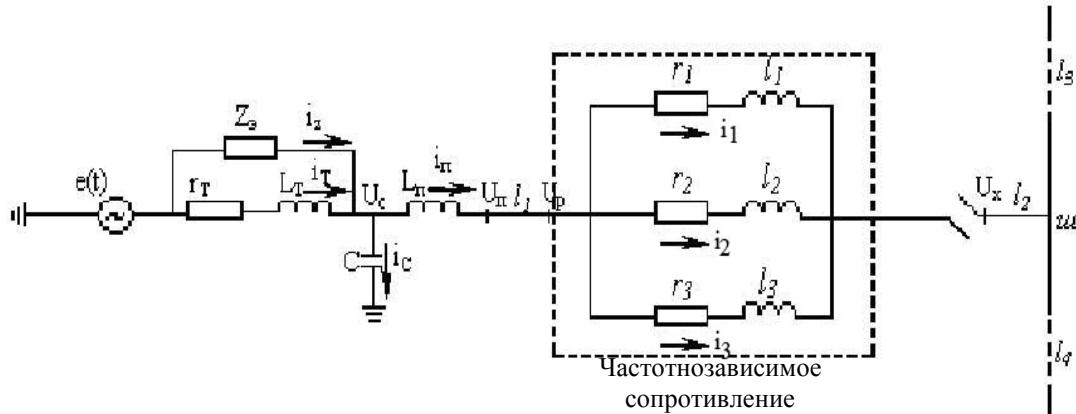


Рис.5. Расчетная схема с учетом модели частотнозависимого резистора

Система уравнений для частотнозависимого сопротивления в соответствии ее модели будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} u_p &= r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + u_x \\ u_p &= r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_x \\ u_p &= r_3 i_3 + L_3 \frac{di_3}{dt} + u_x \end{aligned} \quad (3)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{di_1}{dt} &= L_1^{-1} (u_p - u_x - r_1 i_1) \\ \frac{di_2}{dt} &= L_2^{-1} (u_p - u_x - r_2 i_2) \\ \frac{di_3}{dt} &= L_3^{-1} (u_p - u_x - r_3 i_3) \end{aligned} \quad (4)$$

где $i_n = i_1 + i_2 + i_3$

Алгоритм расчета построен таким образом, что при зажигании дуги между контактами разъединителя к системе уравнений добавляется уравнение холостого состояния

шин. Уравнение холостой системы шин аналогично с уравнениями линии электропередачи с учетом поверхностного эффекта в земле и проводах и коронирования проводов линии. Параметры модели частотнозависимого резистора постоянны, при этом при решении уравнений с учетом уравнений линии используется метод, применяемый к уравнениям (2) с постоянным шагом.

Для иллюстрации возможности применения частотнозависимого сопротивления при ограничении высокочастотного перенапряжения рассмотрено в однофазном варианте. Предложенный алгоритм позволяет осуществить исследования и в трехфазной схеме с учетом защитных устройств, например, ОПН имеющихся в системе шин.

На рис.6.показаны результаты расчета высокочастотного переходного процесса при коммутации холостой системы шин с разъединителями. Здесь 1-напряжение источника, которая за короткое время не изменяется; 2,3 – напряжение на стороне холостой шины при коммутации разъединителями, соответственно без учета и с учетом частотнозависимого резистора.

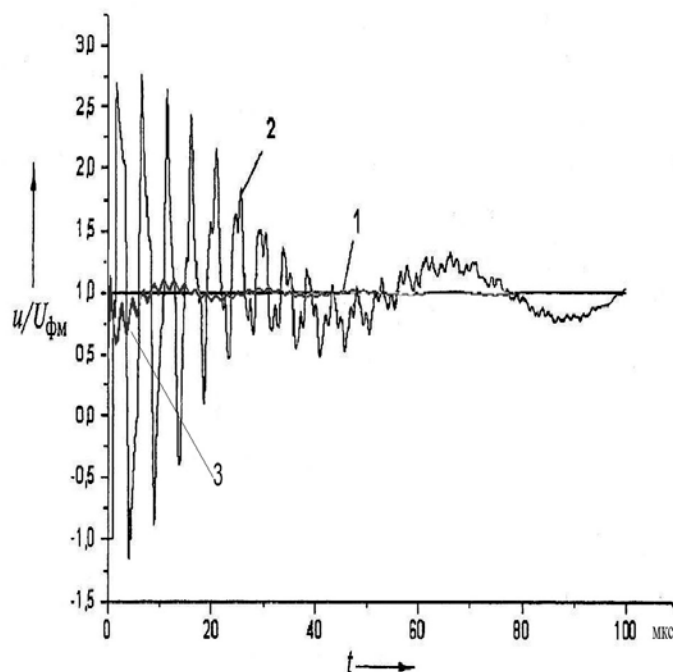


Рис.6. Расчетные кривые напряжений при коммутации разъединителем холостого участка шин

Выводы.

Представленные результаты расчетов показывают, что использование в коммутируемую цепь частотнозависимых резисторов эффективно воздействует на характер высокочастотного переходного процесса перезарядки, приводя к его быстрому затуханию.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Методическое указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110 кВ и выше. Б.И. Ковалев, В.С. Киндяков, А.В. Ковалева и др. Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России», Департамент электриче-

ских сетей. Служба передового опыта ОРГРЭС, Москва, 1998, с.26

[2]. Дмитриев Е.В., Гашимов А.М., Ахмедов Х.М. *Защита оборудования электрических подстанций от высокочастотных перенапряжений слабонелинейными резисторами*. Энергетика, Минск, 1999, №6, с.32-39

[3]. Гашимов А.М., Мехтиев Т.Р., Бабаева Н.Р. *Частотнозависимый резистор*. Международная конференция «Физика - 2005», Баку, 7-9 июнь, 2005, стр. 613-617

[4]. Гашимов А.М., Дмитриев Е.В., Пивчик И.Р. *Численный анализ волновых процессов в электрических сетях*. Новосибирск: Наука, 2003., с.148

[5]. Фридман Б.Э. *Скин-эффект в массивных проводниках электроимпульсных установок. II Массивные проводники в электрических цепях*. Журнал технической физики, 2002, том 72, вып.9, с.52-56



Ариф М. Гашимов родился в 1949 году в Азербайджане. В 1971 году закончил факультет Энергетики Института Нефти и Химии им. М. Азизбекова (Баку, Азербайджан). В 1979 г. защитил кандидатскую, 1993г. – докторскую диссертации в Институте Электродинамики НАН Украины. Он является директором Института Физики НАН Азербайджана. Его научная деятельность посвящена развитию теории нелинейных электрических цепей с распределенными параметрами, заземлению нейтрали, феррорезонансных процессов.



Талат Р. Мехтиева родилась в 1944 году в Азербайджане. В 1970 году закончила факультет физики Азербайджанского Государственного Университета имени С.М. Кирова. В 1977 году защитила кандидатскую, 1992г. – докторскую диссертации. Она является заведующим отдела Института Физики НАН Азербайджана. Его научная деятельность посвящена развитию теории нелинейных электрических цепей с распределенными параметрами, системе приема и передачи сигналов на дальние расстояния.



Нармин Р. Бабаева родилась в 1980 году в Баку. Высшее образование получила в Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии, которую окончила 2003 году (степень магистра) по специальности физика и техника высоких напряжений. Ее научная деятельность посвящена анализу переходных и феррорезонансных процессов. Она является аспирантом Института Физика НАН Азербайджана.