

передаточного коэффициента регулятора в зависимости от положения объекта в пространстве состояний и изменения дисперсии информационного сигнала, используются экспериментально полученные зависимости $k_0(\rho, l)$, $\sigma(\rho, l)$ (см. табл. 2,3 и рис. 1,2,3,4).

Выводы. Результаты исследований ЭИУ показали, что коэффициенты модели управления и статистические характеристики информационных координат зависят от положения объекта в пространстве состояний и требуют корректировки в процессе управления, то есть адаптации. Предложенный метод корректировки коэффициентов системы управления с помощью нечеткой логики позволяет поддерживать оптимальные режимы ЭИУ при изменяющихся технологических параметрах и внешних условиях. База правил НР легко может быть расширена за счет экспериментальных данных, обеспечивая адаптивность управления при различных режимах обработки, что повышает точность и расширяет зону управляемости объекта.

Список литературы: 1. Управление электрогидроимпульсными процессами / И.Т.Вовк, В.Б.Друммирецкий, Е.В.Кривицкий, Л.Е.Овчинникова. – Киев: Наукова думка, 1984. – 186 с. 2. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Туз Ю.М. Планирование и организация измерительного эксперимента. – Киев: Вища школа, 1987. – 280 с. 3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1981. – С. 78. 4. Вовченко А.И., Козырев С.С., Назарова Н.С. Корреляционный анализ процессов предпробойной стадии электроимпульсного преобразования энергии // Техн. Электродинамика. – 2005. – № 4. – С. 3-7. 5. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – Киев: «Радиоаматор», 2003. – 512 с.

Поступила в редколлегию 06.10.2006

УДК 621.373.5

М.И.БАРАНОВ, докт.техн.наук, НТУ «ХПИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВУХ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОДЖИГАЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На основі багаторічного досвіду експлуатації потужних електрофізичних установок виконано порівняльний аналіз роботи двох схем електричного запуску імпульсами високої напруги генераторів імпульсних напруг (струмів) та дано рекомендації що до їх практичного застосування.

Based on longstanding experience of exploitation of powerful electro physical set-ups, a comparison study of operation of two schemes of electrical triggering by high voltage pulses of voltage (current) pulsed generators is performed, and recommendations of their practical implementation are given.

Введение. В настоящее время в высоковольтной импульсной технике (ВИТ) широкое применение в электрических схемах генераторов импульсных напряжений (ГИН) и токов (ГИТ) нашли генераторы высоковольтных импульсов напряжения, предназначенные для электрического запуска ГИН (ГИТ) [1-4]. По существу в ВИТ этот отдельный класс управляющих генераторов стал необходимым и весьма ответственным высоковольтным элементом практически всех типов ГИН (ГИТ) и соответственно мощных высоковольтных электрофизических установок (ВЭФУ), используемых для научных и технологических целей. Обычно указанные генераторы управляющих импульсов высокого напряжения микросекундного диапазона выполняются в виде следующих схем построения: во-первых, схем (рис. 1), содержащих генератор пусковых импульсов (ГПИ) напряжения амплитудой до 10 кВ (первая ступень генерирования импульсов поджига) плюс генератор высоковольтных поджигающих импульсов (ГВПИ) напряжения амплитудой до 100 кВ (вторая ступень генерирования импульсов поджига), высоковольтный выход которого через разделительный конденсатор подключен к управляющему электроду каскадного (многозачорного) высоковольтного искрового коммутатора (ВИК) первого каскада ГИН (ГИТ) [1-3]; во-вторых, схем (рис. 2), имеющих только один генератор ГПИ, вырабатывающий аperiodический управляющий импульс высокого напряжения (амплитудой 10-50 кВ) со временем нарастания микросекундной длительности (от 1 до 5 мкс), который подается, например, на управляемый трехэлектродный разрядник тригatronного типа [4-6]. При этом данные по рекомендуемым областям применения указанных генераторов, обеспечивающих получение для электрического запуска ГИН (ГИТ) управляющих импульсов высокого напряжения, как правило, отсутствуют.

Целью статьи является выполнение на основе опытных данных сравнительного анализа работы двух наиболее часто встречающихся на практике электрических схем запуска импульсами высокого напряжения генераторов ГИН (ГИТ), входящих в состав мощных электрофизических установок, и разработка практических рекомендаций по их использованию в области ВИТ.

1. Постановка инженерно-технической задачи

Рассмотрим зарядно-разрядные цепи ГИН (ГИТ) мощных ВЭФУ, содержащих емкостные накопители энергии (ЕНЭ). Пусть эти ЕНЭ по высоте ГИН (ГИТ) рассредоточены на изоляционных или металлических полках и вместе с ВИК атмосферного давления образуют высоковольтные каскады, которые при срабатывании ВИК образуют последовательную разрядную электрическую цепь. Примем, что ЕНЭ таких ГИН (ГИТ) этажерочного типа допускают двухполярную зарядку постоянным напряжением $\pm U_3$ от соответствующих повысительно-выпрямительных устройств ВЭФУ. Требуется в зависимости от уровня выходного напряжения U_B (энергоемкости или тока разряда) ГИН (ГИТ) выработать рекомендации по применению в их составе тех или иных схем построения генераторов управляющих импульсов высокого напряжения.

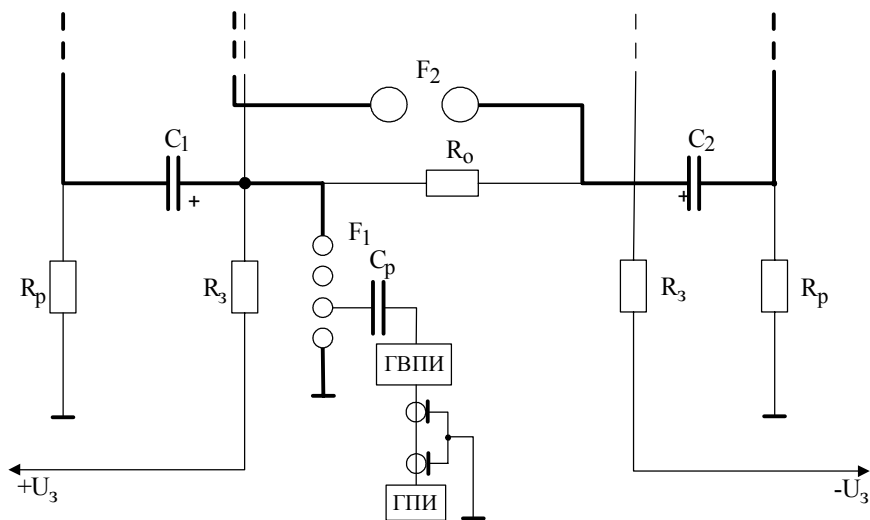


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема построения запуска ГИН (ГИТ) на основе совместного применения генераторов ГПИ, ГВПИ и многозазорного ВИК F_1

2. Анализ работы рассматриваемых схем запуска ГИН (ГИТ) на основе опыта их эксплуатации

На рис. 1 приведена принципиальная электрическая схема построения электрического запуска мощного ГИН-2 (энергоемкостью 1 МДж) с восьми каскадами на номинальное выходное напряжение $U_B = 2$ МВ с использованием двухступенчатого генерирования высоковольтных импульсов поджига их первого каскада. На рис. 1 приняты следующие обозначения: $C_1 = C_2 = 8$ мкФ – ЕНЭ каскадов ГИН; $R_3 = 360$ Ом – зарядное сопротивление каждого каскада; $R_p = 110$ кОм – разрядное сопротивление каждого каскада; $R_0 = 180$ Ом – межкаскадное разделительное сопротивление; F_1 и F_2 – ВИК первого и второго каскадов ГИН; $C_p = 180$ пФ – разделительная емкость на 120 кВ. Заметим, что на рис. 1 и 2 жирными линиями указана электрическая цепь разряда ЕНЭ рассматриваемого ГИН. При проведении на ВЭФУ с указанным выше мощным ГИН экспериментальных высоковольтных исследований и испытаний технических объектов на электромагнитную стойкость нами был установлен серьезный недостаток схемы запуска, содержащей генераторы ГПИ (на 10 кВ) и ГВПИ (на 100 кВ) – высокий уровень наведенного импульсного напряжения U_H на неэкранированной части жилы радиочастотного кабеля с полиэтиленовой изоляцией, отходящей от высоковольтного разделительного конденсатора C_p на длину до 3 м и подсоединенной к одному из металлических электродов многозазорного ВИК F_1 на 250 кВ. При срабатывании данного ГИН с выходным рабочим напряжением $U_B > 1$ МВ микросекундной длительности (при временах нарастания t_m до амплитуды порядка нескольких

микросекунд) на RL -нагрузку ($L_H = 15$ мкГн; $R_H = 0,01$ Ом; амплитуда тока в нагрузке порядка 100 кА при t_m порядка 8 мкс) амплитуда U_{Hm} импульсного напряжения электрической наводки на элементах ГВПИ могла составлять от нескольких десятков киловольт до 200 кВ и выше. Это неоднократно приводило к электрическому пробое разделительного конденсатора C_P , собранного из 12 шт. последовательно соединенных и залитых эпоксидным компаундом высоковольтных керамических конденсаторов типа КВИ-3-2200пФ – 10 кВ (рис. 3), высоковольтных керамических конденсаторов типа К15-4-2200пФ – 30 кВ (рис. 4) входной цепи ГВПИ и даже однократному пробое залитой эпоксидным компаундом вторичной обмотки высоковольтного импульсного трансформатора ГВПИ на номинальное напряжение 100 кВ. Поэтому рекомендуемой областью применения схемы запуска мощного ГИН (ГИТ) с ГВПИ на выходное импульсное напряжение амплитудой $U_{ГВПИ} = 100$ кВ, приведенной на рис. 1, может служить та, которая определяется следующим приближенным эмпирическим соотношением, вытекающим из имеющегося в НИПКИ «Молния» НГУ «ХПИ» опыта эксплуатации подобной ВИТ:

$$U_B / U_{ГВПИ} \leq 10, \tag{1}$$

где U_B – амплитуда выходного рабочего импульсного напряжения ГИН (ГИТ).

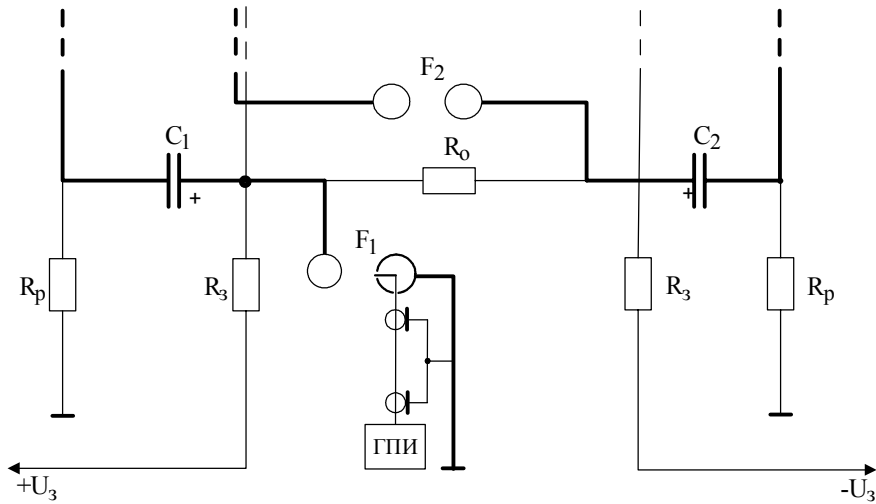


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема построения запуска ГИН (ГИТ) на основе применения одного генератора ГПИ и разрядника–тригatronа F_1

На рис. 2 представлена апробированная нами другая принципиальная электрическая схема построения управляемого запуска первого каскада приведенного выше мощного ГИН-2, использующая только один генератор ГПИ



Рисунок 3 – Общий вид генератора ГВПИ на 100 кВ с разрушенным мощной электрической наводкой разделительным конденсатором C_p при срабатывании генератора ГИН-2 с выходным рабочим напряжением 1,2 МВ

(на 10 кВ) и управляемый ВИК F_1 тригatronного типа. Из опыта эксплуатации такой широко известной в области ВИТ схемы запуска мощного ГИН (ГИТ), содержащей полностью экранированную электрическую цепь подачи от ГПИ на управляющий электрод разрядника-тригatronа F_1 высоковольтного импульса поджига микросекундной длительности, следует, что она (эта схема) практически не подвергается вредному (опасному) влиянию мощных электрических наводок в ней (индуцированных напряжений и токов) на работу генератора ГПИ. Основную защитную роль в этой схеме запуска выполняет медная оплетка радиочастотного кабеля, надежно соединяющая металлический корпус (шасси) ГПИ и полый хорошо заземленный электрод разрядника-тригatronа F_1 . Из опытных данных явствует, что наведенный мощным импульсным магнитным (электрическим) полем разрядного контура ГИН (ГИТ) электрический потенциал в медной оплетке указанного кабеля может достигать десятков киловольт. Обследование проложенного по бетонному

полу основания действующего на экспериментальной базе НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» ГИН на 2 МВ, содержащего выходящие наружу горизонтально расположенные заземленные несущие металлические конструкции швеллеров и двутавров, радиочастотного кабеля длиной до 5м, идущего от ГПИ на 10 кВ к разряднику-тригatronу F_1 на 125 кВ, свидетельствует о том, что защитная полиэтиленовая оболочка этого кабеля в зоне над указанными заземленными металлоконструкциями содержит многочисленные прожоги и разрушения, вызванные ее электрическими пробоями от индуцированных в его (кабеле) медной оплетке импульсных напряжений микросекундной длительности.



Рисунок 4 – Общий вид керамического конденсатора типа К15-4-2200пФ – 30 кВ входной цепи ГВПИ на 100 кВ, разрушенного мощной электрической наводкой при срабатывании генератора ГИН-2 с выходным рабочим напряжением 1,2 МВ

Результаты опытной эксплуатации схемы электрического запуска мощных ГИН (ГИТ), показанной на рис. 2, дают нам основание считать, что для нее с генератором ГПИ на выходной микросекундный импульс напряжения амплитудой $U_{ГПИ} = 10$ кВ наиболее рациональной областью использования будет та, которая характеризуется следующим приближенным эмпирическим соотношением:

$$U_B / (n \cdot U_{ГПИ}) > 10, \quad (2)$$

где n – число последовательно включенных при разряде ЕНЭ каскадов в разрядном контуре ГИН (ГИТ).

Из анализа эмпирических соотношений (1) и (2) вытекает, что схему

электрического запуска импульсами высокого напряжения мощного ГИН (ГИТ) ВЭФУ с ЕНЭ и рассмотренными нами генераторами ГПИ (с выходным импульсным напряжением амплитудой до 10 кВ) и ГВПИ (с выходным импульсным напряжением амплитудой до 100 кВ) согласно рис. 1 целесообразно использовать при выходном рабочем импульсном напряжении мощного ГИН (ГИТ), равном $U_B \leq 1$ МВ, а схему электрического запуска мощного ГИН (ГИТ) согласно рис. 2 – при $U_B > 1$ МВ.

Заключение

1. Генераторы управляющих импульсов высокого напряжения являются ответственными высоковольтными элементами в мощных ГИН (ГИТ) и зачастую высоковольтными устройствами, определяющими надежную работу всей системы электрического запуска и надежное функционирование ГИН (ГИТ) в целом. Поэтому к выбору и схемно-технической реализации данных, как правило, нестандартных высоковольтных устройств разработчиками ВИТ должны предъявляться высокие требования.

2. Многолетний опыт эксплуатации мощных ВЭФУ с ЕНЭ, содержащих ГИН (ГИТ) наружной и внутренней установки, полученный в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» при проведении высоковольтных испытаний различных технических объектов на электромагнитную стойкость и электрическую прочность твердой, газовой и жидкой изоляции, позволяет определить основные достоинства и недостатки рассмотренных в данной работе двух схем их электрического запуска импульсами высокого напряжения микросекундной длительности, а также рекомендовать наиболее рациональные по уровню выходного рабочего напряжения U_B ГИН (ГИТ) и соответственно разрядного тока ВЭФУ с ЕНЭ области их практического применения.

Список литературы: 1. Бочаров В.А., Пекарь И.Р. Генератор высоковольтных пусковых импульсов // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 1981. – Вып. 9. – № 176. – С.39-41. 2. Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябло Ю.П., Мельников П.Н. Комплекс электрофизического оборудования для генерирования микро- и миллисекундных импульсов напряжения до 1,2 МВ и тока до 200 кА // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 5. – С. 55-59. 3. Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябло Ю.П. Комплекс высоковольтного электрофизического оборудования для испытания средств молниезащиты технических объектов грозowymi и коммутационными импульсами напряжения микро – и миллисекундной длительности амплитудой до 1 МВ // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 4. – С. 60-65. 4. Доценко В.И., Жинжиков В.М., Недзельский О.С., Понуждаева Е.Г. и др. Генератор поджигающих импульсов «Блок поджига БП-50»// Вісник НТУ «ХПИ». Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 17. – С. 43-46. 5. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с. 6. Баранов М.И., Бочаров В.А., Иенатенко Н.Н., Колобовский А.К. Мощные генераторы импульсных напряжений и токов предельных параметров для тестирования силового электроэнергетического оборудования // Електротехніка і електромеханіка. – 2003. – № 2. – С. 75-80.

Поступила в редколлегию 20.10.2006