

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ МАГНИТНОГО ПОТОКА В ИЗОЛЯЦИИ СПИРАЛЬНОГО ВМГ

А. А. Зименков, А. Н. Скобелев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия

Процесс работы спирального взрывомагнитного генератора (СВМГ) сопровождается появлением электрического напряжения между витками спирали, а также на выходе генератора. При достижении напряжением некоторой величины возможны электрические пробой, ухудшающие работу генератора. Для повышения электропрочности генераторов применяют изоляцию витков спирали. Изоляция позволяет повысить рабочее напряжение генератора, а значит и его мощность.

Однако при сжатии и выводе магнитного потока в нагрузку необходимо обеспечить надежный и непрерывно движущийся контакт центральной трубы с витками спирали. Разлетающаяся гладкая центральная труба не пробивает изоляцию, а только сжимает ее. Это приводит к тому, что часть потока остается в объеме изоляции, не переходя в нагрузку, и считается потерянными. В связи с этим существует оптимальная толщина изоляции, при превышении которой сильно возрастают потери магнитного потока в генераторе.

Проведен эксперимент с генератором, на наружной поверхности центральной трубы которого выполнены кумулятивные выемки. При разлете такой трубы образуются кумулятивные струи, которые пробивают изоляцию проводов, обеспечивая надежный и непрерывный контакт трубы со спиралью. Результаты опыта показали увеличение максимального значения тока по сравнению с таким же генератором, но с гладкой трубой, в 1,5 раза, что соответствует увеличению мощности источника более чем в два раза.

Таким образом, возможно увеличение мощности СВМГ за счет увеличения максимального напряжения работы генератора и снижения потерь магнитного потока в изоляции.

Процесс работы спирального взрывомагнитного генератора (СВМГ) сопровождается появлением электрического напряжения между витками спирали, а также между витками и центральной трубой. При достижении напряжением некоторой величины возможны электрические пробой, отсекающие часть магнитного потока и ухудшающие работу генератора [1]. Для повышения электро-

прочности генераторов применяют изоляцию витков спирали. Изоляция позволяет повысить рабочее напряжение генератора, а значит и его мощность.

Однако, начиная с некоторой толщины изоляции проводов, разлетающаяся гладкая центральная труба не пробивает изоляцию, а только сжимает ее (рис. 1). Это приводит к тому, что часть потока

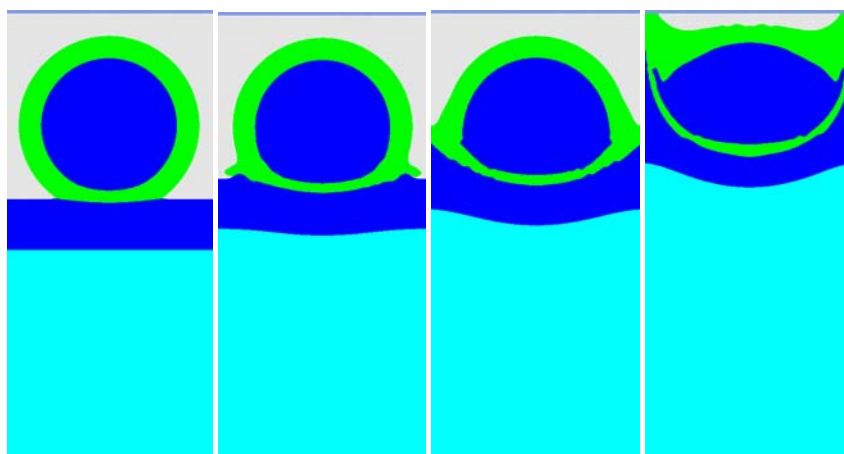


Рис. 1. Пробой изоляции провода гладкой трубой

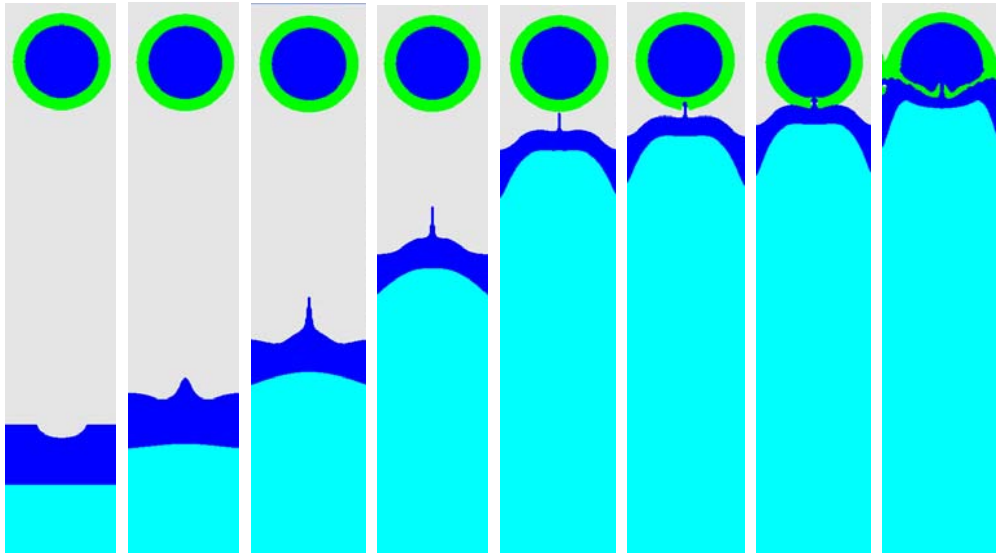


Рис. 2. Пробой изоляции провода кумулятивной струей

остается в объеме изоляции, не переходя в нагрузку, и считается потерянной. Существует оптимальная толщина изоляции, при превышении которой сильно возрастают потери магнитного потока в генераторе [1].

Очевидно, что для снижения потерь потока в изоляции необходимо обеспечивать надежный и непрерывно движущийся контакт центральной трубы со спиралью путем пробивания изоляции проводов.

Наиболее явным решением данной проблемы является использование кумулятивных струй, формирующихся при подлете центральной трубы к спирали (рис. 2).

Для этого на внешней поверхности трубы необходимо выполнить соответствующие кольцевые или винтовые кумулятивные пазы. В идеальном варианте ход нарезки пазов должен соответствовать ходу спиральной катушки над данным участком трубы. Форму и размеры пазов необходимо выбрать такими, чтобы длина струй при подлете трубы к спирали соответствовали толщине изоляции. Параметры пазов зависят от размеров основных элементов СВМГ, материала центральной трубы и типа заряда ВВ и выбираются индивидуально для каждого генератора.

Для проверки работоспособности данной идеи проведены два эксперимента с модельными спиральными генераторами (рис. 3). Катушки генераторов (1) были намотаны в один заход медным проводом диаметром 6 мм с шагом намотки 8 мм. Медный провод имел фторопластовую изоляцию толщиной 1 мм, которая способна выдерживать напряжение до 100 кВ. Внутренний диаметр катушки – 100 мм, длина – 100 мм. Центральная

медная труба (2) имела наружный диаметр 50 мм, внутренний диаметр 40 мм. Отличие генераторов заключалось в центральной трубе. В первом эксперименте она была гладкой, во втором – на внешней поверхности трубы с шагом 3 мм была нарезана винтовая канавка (4) глубиной 1,8 мм и радиусом кривизны 1,3 мм.

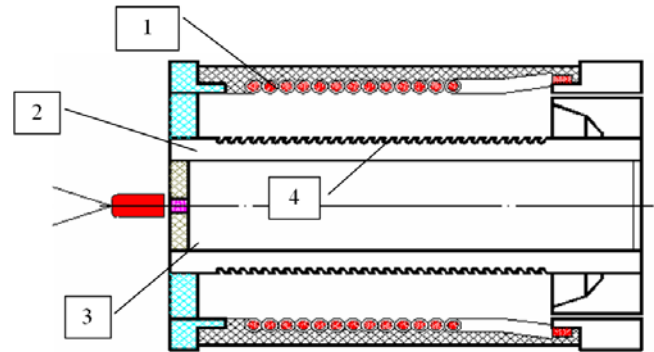


Рис. 3. Эскиз модельного СВМГ, где: 1 – спиральная катушка, 2 – центральная труба, 3 – заряд ВВ, 4 – кумулятивные пазы

Опыты проводились при малых токах и с одинаковой начальной запиткой. Результаты опытов (рис. 4, 5) показали увеличение максимального значения тока в генераторе с рифленой центральной трубой по сравнению с таким же генератором, но с гладкой трубой, в 1,5 раза, что соответствует увеличению мощности источника более чем в два раза.

Анализ результатов экспериментов показал, что в опыте с гладкой трубой генератор работал с

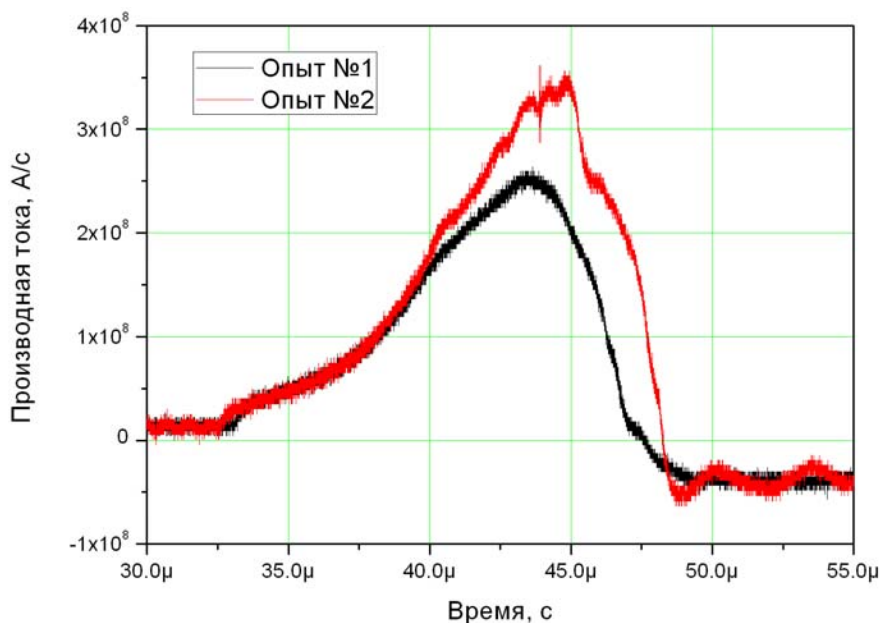


Рис. 4. Экспериментальные производные токов

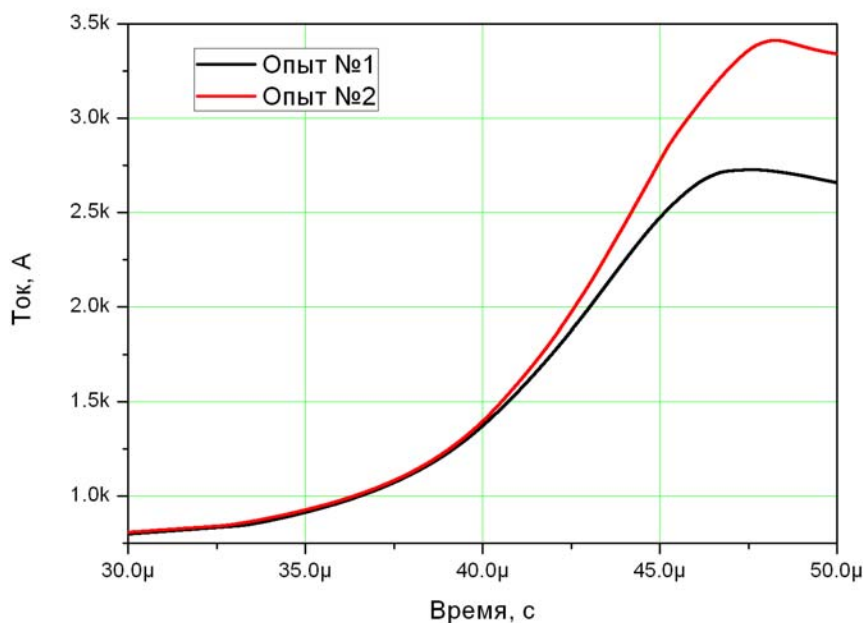


Рис. 5. Экспериментальные токи

коэффициентом совершенства равным 0,65, в то время как во втором эксперименте его значение составило 0,8. Для справки, генераторы такого калибра при изоляции $\sim 0,3$ мм имеют коэффициент совершенства $\sim 0,75$.

Таким образом, применение центральной трубы с кумулятивными пазами позволяет использовать более толстую изоляцию проводов для увеличения рабочего напряжения генератора и снижения потерь магнитного потока в изоляции.

Увеличение мощности СВМГ позволяет существенно уменьшить толщину фольги взрывных размыкателей тока, что важно для сокращения времени нарастания тока, например, в лайнерных нагрузках.

Кроме того, минимизация потерь магнитного потока в изоляции позволяет более точно прогнозировать работу СВМГ, так как в процессе его работы остаются только диффузионные потери, которые, в отличие от потерь в изоляции поддаются расчету [2].

Список литературы

1. Магнитокумулятивные генераторы – импульсные источники энергии: Монография. Том 1 / Под ред. В. А. Демидова, Л. Н. Пляшкевича, В. Д. Селемира. Саров, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011. с. 181, с. 191.

2. Pak S. V. Simulations of current density distribution in the cross-section of the loop and the load in helical explosive magnetic generator. NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEGAGAUSS MAGNETIC FIELD GENERATOR AND RELATED TOPICS. July 7–14, 2002, Moscow - St.-Petersburg.