

6. Хвастунов М.С. / Циклический индукционный ускоритель // Приборы и техника эксперимента, 1981. №3. - С.- 20-23.
7. Канунников В.Н., Михалев П.С., Симухин Н.Ф. и др. // Сб: Труды шестого Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. - Дубна.: ОИЯИ, 1979. Т.2. - С. 319.
8. Ананьев Л.М., Воробьев А.А., Горбунов В.И. Индукционный ускоритель электронов – бетатрон. - М.: Атомиздат, 1961.
9. Филиппов М.Ф. Руководство по расчету электромагнита бетатрона. - Томск: ТПИ, 1967.
10. Азимов А., Бабаджанов Р.Д., Москалев В.А. и др. // Прикладная ядерная спектроскопия, 1979. Вып. 8.
11. Москалев В.А. Индукционный ускоритель заряженных частиц (варианты). // Патент РФ № 2153783. Оpubл. БИ. №21. – 2000.
12. Фурман Э.Г. Бетатрон с подмагничиванием. - Томск: Изд. ТПУ, 2000.
13. Касьянов В.А., Рычков М.В., Филимонов А.А. и др. // Сб. Доклады Десятого Международного Совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. - М.: ЦНИИАтомИнформ, 2001. - С. 113-116.
14. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. / Компенсация потерь энергии на синхротронное излучение в индукционном циклическом ускорителе. // ЖТФ, 1993. Т.75. Вып.3. - С.200-205.
15. Москалев В.А., Сергеев Г.И. / Бетатрон на 500 МэВ. // Сб. Неразрушающий контроль и диагностика. –Томск: НТЛ, 1998. -С.89-92.

УДК: 621.384. (088.8)

В.А.МОСКАЛЕВ, С.В.ПУСТЫННИКОВ, Г.И.СЕРГЕЕВ

ГЕНЕРАТОР МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА С ИНДУКТИВНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ

Для питания мощных электрофизических установок предложен и разработан генератор импульсов тока на основе ударного генератора с индуктивным накопителем. Новая схема заряда индуктивного накопителя с тиристорными ключами позволила исключить быстродействующий электромеханический коммутатор, разрывающий цепь накопителя в момент передачи энергии в нагрузку.

Исследования, проведенные авторами на модели ударного генератора, выполненного в габаритах асинхронного двигателя МТФ-211, показали, что при соотношении параметров $X_H/X_{уд}=2$ наблюдается увеличение запасаемой в накопителе энергии в 1,5 раза.

Работа подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Для питания потребителей импульсов тока большой мощности в настоящее время используются, в основном, три типа источников тока - источники тока с емкостными или с индуктивными накопителями энергии и ударные генераторы [1].

В тех случаях, когда требуются импульсы тока длительностью до 0.02 с - при получении сверхсильных магнитных полей в ускорителях, при питании плазмотронов, в некоторых электроимпульсных технологиях и т.д., предпочтение отдается ударным генераторам и индуктивным накопителям.

В свою очередь, индуктивный накопитель может являться промежуточным звеном между ударным генератором и нагрузкой, что позволяет значительно повысить долю энергии, передаваемой в нагрузку. В работах [1,2] показано, что при соотношении реактивных сопротивлений X_H накопителя и $X_{уд}$ ударного генератора $X_H/X_{уд} = 8$ в индуктивном накопителе можно сосредоточить энергию, равную 3,75 энергии внезапного короткого замыкания генератора.

Основными недостатками, существенно ограничивающими область применения таких устройств, являются:

1) размагничивающее действие реакции якоря ударного генератора, под действием которой уменьшается внутренняя ЭДС генератора в процессе заряда индуктивного накопителя, и, следовательно, снижается уровень запасаемой энергии;

2) наличие быстродействующего коммутатора, разрывающего шунтирующую цепь индуктивного накопителя в момент передачи накопленной энергии в нагрузку.

Быстродействующий коммутатор является весьма дорогим и конструктивно сложным электромеханическим устройством. При токах размыкания в несколько десятков килоампер его габариты могут быть сравнимы с габаритами ударного генератора.

С другой стороны известно, что при работе индуктивного накопителя непосредственно на индуктивную нагрузку энергия, отдаваемая выключателю, в два раза превышает энергию, отдаваемую в нагрузку [1]. Следует отметить также, что разрыв в токовой цепи в момент максимального значения тока сопровождается броском перенапряжения, в 5 - 7 раз превышающим номинальное значение ЭДС генератора, что требует усиления изоляции обмоток генератора и индуктивного накопителя, а также увеличения класса напряжения применяемых в схемах тиристорных и диодов.

Компенсировать размагничивающее действие реакции якоря можно путем подключения на часть витков статорной обмотки ударного генератора конденсаторной батареи. Для устранения другого недостатка авторами разработана и испытана новая схема заряда индуктивного накопителя, в которой быстродействующий коммутатор, замыкающий цепь, заменен тиристорными ключами [3].

Принципиальная схема генератора импульсов тока представлена на рис.1, а на рис.2 приведены эпюры напряжений и токов.

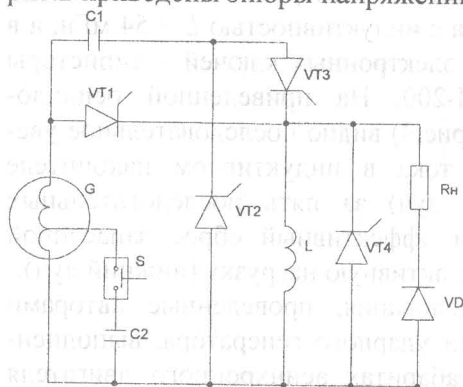


Рис.1. Схема генератора тока

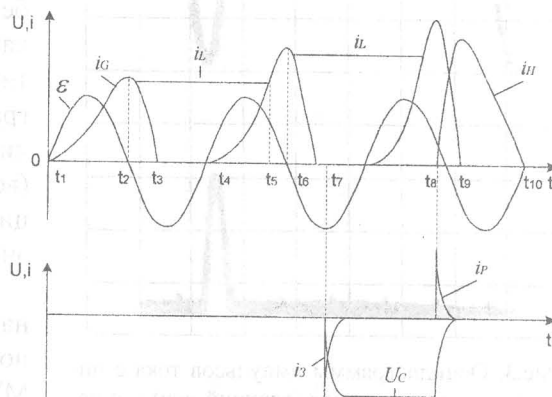


Рис.2. Временные диаграммы

Схема работает следующим образом. Однофазный ударный генератор G приводится во вращение и возбуждается до номинальной ЭДС \mathcal{E} . В момент времени t_1 коммутатор S подключает конденсатор C_2 на часть витков статорной обмотки ударного генератора. Одновременно на тиристор VT_1 подается управляющий импульс и по цепи ударный генератор - индуктивный накопитель начинает протекать ток i_G . В момент времени t_2 , когда ЭДС генератора переходит нулевое значение и ток i_G начнет уменьшаться, срабатывает тиристор VT_4 , шунтирующий накопитель L . Через индуктивный накопитель L и тиристор VT_4 начинает протекать ток i_L , а ток ударного генератора i_G уменьшается до нуля, и в момент времени t_3 тиристор VT_1 закрывается.

В момент времени t_4 вновь срабатывает тиристор VT_1 , ток ударного генератора растет, в момент времени t_5 он становится равным току i_L , и тиристор VT_4 закрывается. В момент времени t_6 , когда ток ударного генератора достигает максимума, вновь срабатывает тиристор VT_4 , шунтирующий индуктивный накопитель. Таким образом идет

процесс накопления энергии в индуктивном накопителе, осуществляемом за 10-30 периодов ЭДС ударного генератора. На рис.2 представлены всего лишь три периода ЭДС, что вполне достаточно для пояснения принципа работы устройства.

Амплитуда тока i_L с каждым циклом накопления непрерывно увеличивается и может достичь значения тока внезапного короткого замыкания ударного генератора, а энергия, запасаемая в индуктивном накопителе, может в несколько раз превышать электромагнитную энергию ударного генератора.

В момент времени t_7 на максимуме отрицательной полуволны ЭДС генератора включается тиристор VT2, и происходит заряд коммутирующего конденсатора C1. На рис.2 показан ток заряда i_3 и напряжение U_C конденсатора C1. В момент времени t_8 , когда ток ударного генератора в очередной раз достигнет максимума, включается тиристор VT3, конденсатор C1 разряжается и запирает тиристор VT1. Цепь протекания тока ударного генератора разрывается, и в момент времени t_9 его ток падает до нуля. Так как тиристор VT4 на последнем этапе не включается, энергия, запасенная в индуктивном накопителе, через диод VD перебрасывается в нагрузку R_H , формируя в ней импульс тока i_H . Когда ток в нагрузке упадет до нуля, диод VD закрывается и в момент времени t_{10} , когда ЭДС генератора переходит нулевое значение, схема возвращается в исходное состояние.

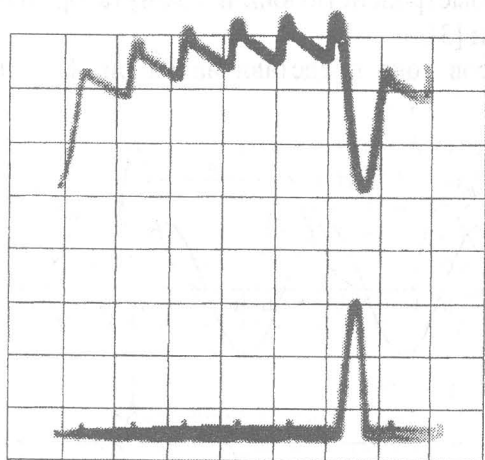


Рис.3. Осциллограммы импульсов тока с индуктивного накопителя (верхний луч) и с нагрузки (нижний луч). Развертка 20 мс/дел, масштаб по вертикали 50 А/дел

Работоспособность описанного генератора импульсов тока была проверена на макете. В качестве индуктивного накопителя использовался электромагнит небольшого бетатрона с индуктивностью $L = 54$ мГн, а в качестве электронных ключей – тиристоры типа ТЛ-200. На приведенной осциллограмме (рис.3) видно последовательное увеличение тока в индуктивном накопителе (верхний луч) за пять последовательных циклов и эффективный сброс запасенной энергии в активную нагрузку (нижний луч).

Исследования, проведенные авторами на модели ударного генератора, выполненного в габаритах асинхронного двигателя МТФ-211, показали, что при соотношении параметров $X_H/X_{уд}=2$ и емкости $C=100$ мкФ наблюдается увеличение запасаемой в накопителе энергии в 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сипайлов Г.А., Хорьков К.А. Генераторы ударной мощности. - М: Энергия, 1979.
2. Венюков Э.И., Сипайлов Г.А., Хорьков К.А. /Формирование импульсов тока при работе генератора ударной мощности в режиме накопления энергии.//Электромеханика. 1980. №4. – С. 38-41.
3. Москалев В.А., Пустынников С.В., Сергеев Г.И. / Генератор импульсов тока. //Патент РФ по А.С. СССР № 2017329. – Оpubл. БИ, 1994. №14.