

УДК 621.311

Применение накопителей электрической энергии для испытания кабельной продукции на термическую и электродинамическую стойкость

Олексюк И.В.

Научный руководитель - Короткевич М.А., д.т.н., профессор

В энергосистеме, для проведения испытаний в области физики, а также для различных других испытательных установок требуются импульсные источники питания. Для решения этих задач могут применяться различного рода накопители энергии, которые способны в течение небольшого отрезка времени выдавать достаточно большой запас электроэнергии.

При выборе импульсного источника тока следует уделять внимание различного рода требованиям:

- по габаритным размерам;
- отсутствию шума;
- удобству эксплуатации;
- надежности.

Установке для испытания кабельной продукции на термическую и электродинамическую стойкость необходим компактный источник тока, способный обеспечивать величину тока 40 кА в течение времени 1 с. По возможности данный источник питания не должен содержать движущихся частей для обеспечения повышенной надежности.

Целью исследования является выбор на основании имеющихся данных наиболее подходящего для испытательной лабораторной установки накопителя электроэнергии.

Известны следующие накопители механической и электрической энергии: емкостные, индуктивные, ударные, взрывные.

Емкостные накопители энергии (ЕНЭ) используются в физических экспериментах благодаря ряду достоинств:

- малому внутреннему сопротивлению (менее 10^{-3} Ом);
- малой индуктивности (до 10^{-9} Гн).

Это позволяет обеспечить малое время разряда (10^{-4} – 10^{-8} с), высокую эффективную передачу энергии в нагрузку, возможность достижения рекордных значений мощности (до 1013 Вт) и скорости нарастания тока (1013 А/с). Емкостные накопители не имеют движущихся элементов, просты в обслуживании, имеют модульный принцип исполнения, который позволяет отключать и заменять элементы при повреждениях. Недостатком ЕНЭ является низкая плотность энергии по сравнению с другими накопителями энергии (0,1-0,5 МДж/м³), поэтому емкостные накопители с энергией 10^6 – 10^7 Дж представляют собой крупные сооружения, занимающие залы и здания. Традиционной является конструкция в виде однотипных конденсаторов, соединенных в разряде параллельно (генератор импульсных токов) или последовательно (генератор импульсных напряжений).

Генераторы импульсных токов на основе индуктивных накопителей представляют собой индуктивные накопители энергии с размыкателями тока. Накопление энергии происходит при разрядке катушки индуктивности от источника постоянного тока. Плотность энергии магнитного поля, запасаемой в индуктивных накопителях, на 2 порядка выше, чем плотность энергии электрического поля, запасаемая в конденсаторах. При энергиях 10^6 Дж индуктивные накопители становятся экономически более выгодными, чем емкостные. Разработанные в настоящее время

индуктивные накопители с обычными катушками имеют энергию порядка 10^7 Дж и используются в качестве импульсных токов для питания мощных ускорителей, импульсной зарядке конденсаторов и формирующих линий. Достоинствами индуктивных накопителей являются: простота и статичность конструкции, хорошие энергетические и массогабаритные показатели, возможность запитки от низковольтных нерегулируемых источников, высокая надежность. К недостаткам можно отнести необходимость использования быстродействующих силовых коммутаторов, большие электродинамические усилия в активной зоне и соответственно наличие прочностных элементов, усложненные системы охлаждения, а также необходимость использования сверхпроводящих катушек при конструировании накопителей с предельными энергиями.

Для индуктивных накопителей время разряда зависит в большей степени от сопротивления нагрузки, поэтому может находиться в широких пределах. Обычно время разряда во много раз меньше времени заряда, благодаря чему мощность индуктивного накопителя при разряде существенно больше мощности зарядного цикла.

Максимальный ток и максимальная мощность такого накопителя будут зависеть от времени разрядного цикла.

Ударные генераторы – это электрические машины, работающие в импульсном режиме. Накопление энергии в маховых массах производится при сравнительно небольшой мощности приводного двигателя. Так, ударный генератор, имеющий в импульсе мощность около 10^6 кВт·А, разгоняется двигателем мощностью около 10^3 кВт.

Затем включается возбуждение генератора, и к нагрузке поступает электрическая энергия, вырабатываемая при торможении ротора электродинамическими силами. Накапливаемые энергии в ударных генераторах приближаются к $6 \cdot 10^9$ Дж, максимальные токи достигают нескольких сотен килоампер при длительности ($10^{-1} - 1$) с. Механические накопители с генераторами переменного тока напряжением 10-20кВ применяются для испытания выключателей высокого напряжения на способность отключать токи короткого замыкания в сети. Для повышения напряжения до 220кВ используются силовые трансформаторы. Механические накопители с генераторами постоянного тока получили название униполярных. Перспективной областью применения таких генераторов является техника получения сильных магнитных полей. Такие генераторы могут обеспечить высокую удельную энергию ($97,5 \cdot 10^6$ Дж/м³), однако низкое напряжение и сложность токосъема ограничивают их применение.

Взрывные генераторы, называемые также магнитокумулятивными, основаны на принципе сжатия импульсного магнитного поля с помощью энергии взрывчатых веществ. Такого типа генераторы имеют высокую удельную энергию (10-100 МДж/м³), что обуславливает возможность их практического применения в импульсной энергетике, физике плазмы, лазерной физике, в ускорительной и СВЧ - технике. Максимальные энергетические характеристики взрывного генератора: ток 920 кА, мощность около $6 \cdot 10^8$ Вт, энергия 37 кДж. КПД преобразования энергии взрывчатого вещества в электрическую около 5%.

Используются также комбинированные накопители электроэнергии, в частности емкостно-кинетический накопитель. Здесь конденсаторная батарея, собранная из последовательно-параллельно включенных импульсных конденсаторов сверхвысокой энергоемкости, конструктивно закреплена на маховике на его периферии, выводы батареи соответствующей полярности подключены к контактными кольцам, установленным на валу маховика и оснащенным щеточно-контактным аппаратом для включения в силовую цепь электрической машины.

В табл. 1 приведены основные характеристики рассматриваемых типов накопителей энергии.

При выборе конкретного проектного решения в общем случае можно использовать многокритериальный подход, подробно описанный в [4], но при выборе источника импульсного тока для лаборатории по сертификации кабельной продукции достаточно проанализировать параметры вышеперечисленных накопителей.

Таблица 1. – Параметры различных типов накопителей электроэнергии

Тип накопителя	Наименования параметров					
	Максимальный ток, МА	Длительность импульса, с	Максимальная запасаемая энергия, МДж	Удельная энергия, МДж/м ³	Максимальная мощность, МВт	Наличие движущихся частей
Емкостный	310	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁴	10	0,1-0,5	-	нет
Индуктивный	-	-	более 10	10-50	-	нет
Ударный	0,2	0,1-1	6000	97,5	800	есть
Взрывной	0,92	6·10 ⁻⁵	0,037	10-100	600	нет

Важным фактором при выборе импульсного источника питания являются его габариты, поэтому в тех случаях, когда требуется мощный источник импульсной энергии и требуются небольшие его размеры, емкостный накопитель применять нецелесообразно. Для лабораторной установки необходим источник питания небольшого размера, поэтому емкостный накопитель энергии не подходит.

Взрывной накопитель имеет малое время и малую энергию импульса, что препятствует использованию для испытания кабельной продукции.

Из рассмотренных выше типов накопителей, наиболее целесообразным было бы использование источника тока на основе индуктивного накопителя, но необходимо рассмотреть два условия, при которых проводятся испытания:

1. при номинальном напряжении;
2. при пониженном напряжении.

Если проводить испытания при номинальном напряжении, то для кабелей напряжением 10 кВ необходим источник питания мощностью 400 МВт, а энергия импульса должна быть не ниже 400 МДж. Импульс с такой энергией может быть получен только с использованием ударного генератора, который при работе будет создавать некоторый шум, в связи с наличием движущихся частей.

Если проводить испытания при пониженном напряжении (несколько сотен вольт), то наилучшим источником тока будет индуктивный накопитель, удовлетворяющий всем требованиям, предъявляемым к импульсным источникам питания лабораторной испытательной установки.

Как видно из вышеизложенного материала, для решения поставленной задачи можно применить не один тип накопителя электроэнергии, а несколько. Выбор зависит от условий проведения испытаний.

Литература

1. Накопители энергии: Учеб. пособие для вузов/Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400с.: ил.

2. Мощная импульсная энергетика: Учеб. пособие/М.Т. Пичугина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 98 с.
3. Российский национальный симпозиум по энергетике, 10-14 сентября 2001: Материалы докладов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2001 – Т.П.
4. Проектирование распределительных электрических сетей: Учеб. пособие/Г.А. Фадеева, В.Т. Федин. – Мн.: Высшая школа, 2009. – 365 с.