

**Генератор мощных высоковольтных импульсов.** В большинстве С. у. первичное накопление энергии осуществляется в конденсаторах *C* (рис. 1) при сравнительно низком напряжении (~100 кВ), после чего следует увеличение напряжения на один-два порядка либо с помощью импульсного трансформатора, либо коммутацией конденсаторной батареи из параллельного соединения в последовательное (схема Аркадьева — Маркса). Если длительность импульса больше времени работоспособного состояния диода, то приходится вводить «обостритель» импульсов (усилитель мощности) в одном или нескольких каскадах. Эти каскады обычно выполнены в виде отрезков *линий передач*, погружённых в диэлектрик для увеличения уд. энергоёмкости. Для этого используют *жидкие диэлектрики* (трансформаторное и касторовое масло в случае высокого напряжения, воду — низкого), не «запоминающие» пробоев и имеющие повышен. электрич. прочность при длительности импульса, меньшей ~1 мкс. Применение воды, имеющей высокую диэлектрич. проницаемость, и следовательно энергоёмкость, позволяет сократить размеры линии, но требует тщательной очистки и деионизации, чтобы исключить потери энергии за времена порядка 1—10 мкс. Для малых напряжений и больших токов используются одинарные линии, в обратном случае — двойные (т. н. линии Блюмляйна), создающие удвоение напряжения на нагрузке, к-рой служит диод. В С. у. с малой запасаемой энергией низкоиндуктивный источник может непосредственно обеспечить на диоде импульс напряжения длительностью  $\lesssim 100$  нс. Такую же схему имеют С. у. с длительностью пучка  $\gg 1$  мкс, но в этом случае схема Аркадьева — Маркса обычно собирается из искусств. длинных линий. Это позволяет получить на диоде импульсное напряжение, близкое к прямоугольному.

Поскольку ток и мощность С. у. определяются напряжением генератора высоковольтных импульсов, имеющим естеств. техн. ограничения, для достижения экстремальных параметров используется конструкция из модулей с умеренными параметрами каждого модуля и сложением выходных токов или напряжений спец. сумматорами. Так, в исследованиях по инерциальному УТС мощность пучка должна составлять десятки ТВт при энергии электронов  $\sim 10^6$  эВ или лёгких ионов  $\sim 10^7$  эВ. Для создания С. у. с такими выходными параметрами пучков разработаны схемы высоковольтных ускорителей с параллельным включением выходов неск. десятков модулей. Примеры таких установок — Proto-2 и RBFA-2 (США) и «Ангара»-5 (СССР) (табл. 1).

Табл. 1.—Параметры сильноточных ускорителей с параллельным соединением модулей

	RBFA-2 (США)	«Ангара»-5 (СССР)
Число модулей . . . . .	36	8 (проект 48)
Энергозапас пучка, МДж . . . . .	13	0,7(4,2)
Мощность пучка, ТВт . . . . .	100	9(50)
Параметры модуля		
$V_{вых}$ , МВ . . . . .	6	2,3
Энергозапас, МДж . . . . .	0,36	0,29
Формирующая линия (вода)		
Тип	одинарная	двойная
$t_{зар}$ , мкс . . . . .	0,130	—
$V_{зар}$ , МВ . . . . .	4,6	2,1
$t_{имп}$ , нс . . . . .	50	90
$V_{имп}$ , МВ . . . . .	2,7	1,8
$P_{имп}$ , ТВт . . . . .	2,8	1,1

Для повышения энергии частиц в С. у. используется последоват. включение модулей, т. е. доускорение пучка. Практически это делается в линейных индукц. ускорителях либо в аналогичной по принципу действия последовательности ускоряющих промежутков, питаемых от собств. линий передачи. Непосредств. суммиро-

вание напряжений модулей до 20 МВ на одном диоде осуществлено в установке «Гермес»-III с помощью длинного магнитоизолиров. штока-катододержателя, закреплённого лишь на низковольтном конце и проходящего через все модули.

В табл. 2 приведены нек-рые параметры американских С. у. (уже созданной установки «Гермес» и разрабатываемой установки EDNA) с последоват. суммированием напряжений отд. модулей.

Табл. 2.—Параметры сильноточных ускорителей со сложением напряжений модулей

	«Гермес»-III (США)	EDNA (США)
Выходное напряжение, МВ . . . . .	22	47
Выходной ток, МА . . . . .	0,73	1,2
Длительность импульса, нс . . . . .	40	60
Сумматор		
Длина, м . . . . .	16	37
Число индукторов . . . . .	20	40
Напряжение на индукторе, МВ . . . . .	1,1	1,2
Одинарные формирующие линии		
Число . . . . .	80	160
Импеданс, Ом . . . . .	5	4
Зарядное напряжение, МВ . . . . .	2,6	2,9

**Транспортировка пучков С. у. на большое расстояние** представляет собой сложную проблему, связанную с преодолением сил пространственного заряда и тока (см. *Сильноточные пучки*). Без компенсации пространственного заряда электронный пучок радиуса *a* может быть проведён в продольном магн. поле, жёсткость к-рого  $aV \gg 1,7 \gamma$  [кГс·см], но макс. ток ограничен теоретич. значением  $\approx 8,5(\gamma^2 - 1)^{3/2} / \ln(R/a)$  [кА], где *R* — радиус канала транспортировки. При наличии в пучке положит. ионов с относит. плотностью  $> \gamma^{-2}$  (напр., при распространении в плазме низкой концентрации) поперечное расталкивание электронов сменяется сжатием. Необходимая плотность ионов устанавливается также при транспортировке электронных пучков в вакуумных каналах, на периферии к-рых имеются или создаётся самим пучком плотная плазма. Транспортировка ионных пучков С. у. не может быть обеспечена внеш. полями и требует компенсации сил пространственного заряда ионов медленными сопутствующими электронами. На практике такая нейтрализация осуществляется на выходе ионов из диодов.

**Применение.** С. у. служат гл. обр. для *нагрева плазмы*, создания с помощью полей пучка *магнитных ловушек* и для сжатия микроишней в системах УТС с *инерциальным удержанием* плазмы. Кроме того, пучки, создаваемые С. у., используются для генерации сверхмощных импульсов СВЧ-колебаний в диапазоне от субмиллиметровых до дециметровых волн, для накачки *химических лазеров* и *газовых лазеров* высокого давления, в коллективных методах ускорения ионов и т. д.

Лит.: Смирнов В. П., Получение сильноточных пучков электронов, «ИТЭ», 1977, № 2, с. 7; Накопление и коммутация энергии больших плотностей, пер. с англ., М., 1979; Генерация и фокусировка сильноточных релятивистских электронных пучков, М., 1990. А. Н. Лебедев, Б. Н. Яблоков.

**СИМЕНС** (См, S) — единица СИ электрич. проводимости. Названа в честь Э. В. Сименса (E. W. Siemens). 1 См равен электрич. проводимости проводника, имеющего сопротивление 1 Ом.

**СИММЕТРИЯ** в физике. В том случае, когда состояние системы не меняется в результате к-л. преобразования, к-рому она может быть подвергнута, говорят, что система обладает С. относительно данного преобразования. С. физ. системы определяется С. её *Гамильтона функции* или (в квантовой механике) её *гамильтонианом*, т. е. преобразованиями С. для физ. системы являются преобразования, не ме-