

Ширина этого интервала определяется „темновой” шириной Γ_0 и частотой Раби V .

При включении второго поля ($V_2 \neq 0$) и настройки его в резонанс ($\Delta_2 = \omega_2 - \omega_{b2} = 0$) глубина провала резко увеличивается (см. рис. 2, кривые 2-5). Анализ показывает, что провал наиболее отчетлив при следующих значениях параметров: $V^{opt} \approx 2\Gamma_0$, $V_2^{opt} \approx \Gamma_0$, $W \approx 5\Gamma_0$ (см. кривую 5).

При учете теплового движения атомов и в случае отсутствия буферного газа качественно картина не меняется (см. рис. 3). На фоне доплеровски уширенного контура имеется узкий провал, ширина которого определяется только Γ_0 , V и V_2 .

В заключение отметим, что эффект КПН может быть использован в практических приложениях, например, в квантовых магнетометрах или в стандартах частоты, поскольку позволяет устранять световое уширение в сигнале.

Авторы выражают благодарность Р.А. Житникову за полезное обсуждение настоящей работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Radmore P.M., Knight P.L. - J. Phys. B., 1982, v. 15, p. 561-573.
- [2] Thomas J.E. et al. - Phys. Rev. Lett., 1982, v. 48, p. 867-870.
- [3] Александров Е.Б., Вершовский А.К. - ОиС, 1985, т. 59, № 6, с. 1210-1216.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
7 января 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 11

12 июня 1988 г.

К ВОПРОСУ АВТОУСКОРЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СГРУППИРОВАННЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ

Н.И. А й з а ц к и й

Предложенные в начале семидесятых годов и впоследствии детально изученные как теоретически, так и экспериментально методы автоускорения сильноточных электронных пучков при их взаимодействии с пассивными резонансными структурами (см., например, [1, 2]) не получили широкого распространения в ускорительной технике. Однако проведенные работы были интересны в физическом плане, поскольку они расширили наше понимание коллективных явлений, возникающих в электронных потоках. Данные исследования

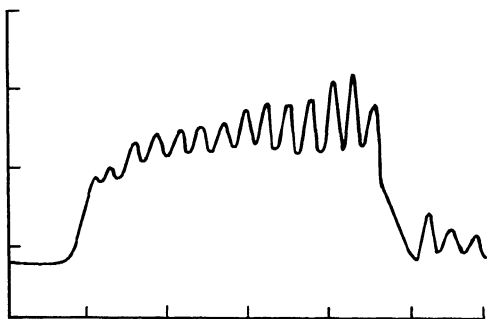


Рис. 1.

также стимулировали развитие ряда новых направлений, одним из которых является метод доускорения релятивистских сгруппированных пучков электронов, получаемых на выходе линейных резонансных ускорителей [3, 4]. Основной целью этого метода, как и автоускорения сильноточечных электронных пучков, является перераспределение энергии между частицами пучка. При автоускорении такое перераспределение происходит автоматически вследствие того, что при взаимодействии непрерывных пучков с переменным во времени электромагнитным полем всегда есть частицы, попадающие в ускоряющую фазу и увеличивающие таким образом энергию. В методе доускорения требуется перераспределить энергию между частицами пучка, представляющую собой последовательность хорошо сгруппированных сгустков, следующих друг за другом на расстоянии, равном длине волны ускоряющего поля в ЛУЭ. Такой пучок, попадая в пассивную структуру, обязательно возбудит в ней колебания на частоте своей модуляции (или ее гармониках), причем значительные напряженности электромагнитных полей (несколько сот кВ/см) создаются при импульсных токах до 1А, т.е. на несколько порядков меньших, чем требуется для реализации заметного автоускорения непрерывных пучков. Однако такое преимущество в значительной степени уменьшается тем, что все инжектируемые сгустки попадают в тормозящую фазу поля и для реализации доускорения необходимо с помощью внешних устройств в определенный момент времени изменить фазу влета частиц в пассивную структуру [3, 4].

Для реализации автоускорения релятивистских сгруппированных пучков электронов, в отличие от автоускорения непрерывных пучков, необходимо перераспределить энергию между частицами не на периоде возбуждаемых колебаний и равному периоду следования сгустков, а между сгустками. Это произойдет только в том случае, когда в пассивной структуре электронный пучок создаст многочастотное „равновесное состояние“. Другими словами, в автогенераторе, представляющем собой резонансную структуру, пронизываемую релятивистским сгруппированным пучком, необходимо реализовать многочастотный режим генерации. При этом возникает возможность,

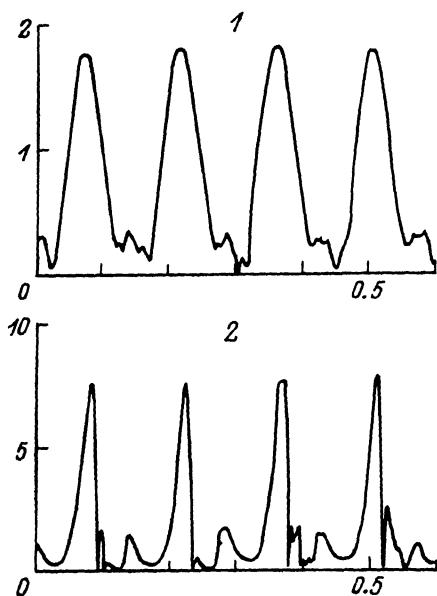


Рис. 2.

когда часть инжектируемых сгустков без внешнего воздействия будет попадать в ускоряющую фазу поля.

Нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования возможности реализации метода автоускорения для релятивистских сгруппированных пучков. Экспериментальные исследования проводились на универсальном инжекторном комплексе (УИК) ускорителя ЛУЭ-300 [5], при этом в качестве пассивной структуры использовалась вторая секция УИК, которая при нулевой связи направленного ответвителя представляет собой резонатор бегущей волны (РБВ).

Прежде всего необходимо найти условия, при которых в резонансной структуре может возникнуть многочастотный режим [6], и изучить его характеристики. Исследования показывают, что такой режим может иметь место в случае инъекции пучков с умеренной энергией ($W_0 < 10$ МэВ), причем для каждого набора значений параметров инжектируемого пучка (ток, энергия) существует оптимальный вариант фазовой настройки РБВ (которая осуществляется регулируемым фазовращателем). Так, например, при $W_0 \sim 4.5$ МэВ, $I \sim 0.7$ А оптимальная фазовая настройка достигается при набеге фазы $\Delta\Phi \sim -0.5$ (см. рис. 1, где представлена осциллограмма огибающей высокочастотного сигнала с выхода секции на начальной стадии развития многочастотного режима для указанных параметров, цена деления по горизонтали — $\Delta t = 0.5$ мкс). Математическое моделирование показывает, что время выхода в режим развитой модуляции составляет величину порядка 4–5 мкс. Это обстоя-

тельство затруднило экспериментальную проверку возможности автоускорения в этих условиях, поскольку длительность импульса тока была меньше указанного интервала ($T \sim 1.5-2$ мкс).

Результаты машинного моделирования установившегося многочастотного режима с параметрами, близкими к условиям эксперимента представлены на рис. 2 (1 – зависимость амплитуды поля (в 100 кВ/см) и энергии (2) от времени (в мкс); $I = 1$ А, $W_0 = 4.5$ МэВ, $\Delta\phi = -0.5$). Из этих результатов следует, что в многочастотном режиме часть сгустков ускоряется, причем при оптимальной настройке РБВ энергия увеличивается почти в два раза.

Таким образом, при взаимодействии релятивистских сгруппированных электронных пучков с пассивными резонансными структурами при определенных условиях можно осуществить режим автоускорения. Такие режимы представляют интерес также для создания специальной структуры пучка [7]. Автомодуляционные явления могут иметь и негативные проявления, например, при рекуперации высокочастотной энергии путем торможения частиц пучка в резонансных структурах [8].

Л и т е р а т у р а

- [1] Гапанович В.Г., Коломенский А.А., Лебедев А.Н. Труды четвертого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, М.: Наука, 1975, т. 1, с. 100-104.
- [2] Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Мощные электронные пучки и их применение, М.: Атомиздат, 1977.
- [3] Вишняков В.А., Закутин В.В., Кушнир В.А. и др. – ЖТФ, 1987, т. 57, № 8, с. 1549-1554.
- [4] Богданович Б.Ю., Игнатьев А.П., Останин В.А. – Препринт МИФИ № 036 – 86, М., 1986.
- [5] Ажиппо В.А., Айзацкий Н.И., Дюков С.Н. и др. Труды XIII международной конференции по ускорителям частиц высоких энергий. Новосибирск: Наука, 1987, т. 2, с. 189-192.
- [6] Айзацкий Н.И. – ЖТФ, 1987, т. 57, № 8, с. 1671-1672.
- [7] Grau С.А. – IEEE J. of quant. electronics, 1985, v. QE-21, N 7, p. 824-830.
- [8] Watson J.M. – Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1986, v. A250, N 1, 2, p. 1-3.

Поступило в Редакцию
29 января 1988 г.