

# Гибридный каплер для электрон-позитронного линейного коллайдера SBLC DESY

С.В.Иванов, В.Е.Калюжный, Д.В.Костин, О.С.Милованов, Н.Н.Нечаев,  
А.Н.Парфенов, Н.П. Собенин, С.Н.Ярыгин

Московский государственный инженерно-физический институт  
(Государственный университет), Россия

А.А.Завадцев

Московский радиотехнический институт РАН, Россия

Рассмотрены возможности создания каплера для ускоряющей секции SBLC DESY, обеспечивающего как ввод мощности на рабочей частоте с симметризацией поля основной волны в области пролета пучка, так и вывод паразитных гибридных волн из первых ячеек ускоряющей секции. Такой каплер может использоваться для демпфирования высших мод и для создания датчика положения пучка. Исследования гибридных волн проведены с помощью эквивалентной схемы (ЭС) круглого диафрагмированного волновода (КДВ) и экспериментальных измерений.

## Введение

Возбуждение запертых дипольных мод ( $HEM_{11}$ ) в ускоряющих структурах с постоянным градиентом создает большие проблемы для сохранения требуемых параметров ускоряемого пучка. Демпфирование этих мод в начальной части секции может быть осуществлено с помощью каплера, изображенного на рис. 1. Он был разработан на базе входного симметричного каплера для ускоряющей секции SBLC [1], в конструкцию которого были введены дополнительные отверстия связи для вывода второй поляризации (Y-поляризации) высшей моды (см. рис.1) при сохранении согласования каплера на рабочей частоте.

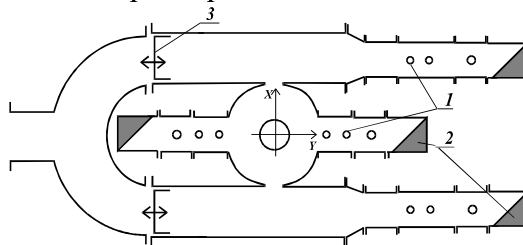


Рис. 1. Вид исследуемого гибридного каплера: 1 - согласующие штири; 2 - поглощающие нагрузки; 3 - короткозамыкающие плунжеры.

## 1. Эквивалентная схема на гибридной моде

Анализ возбуждения гибридных волн в секции SBLC выполнен на основе ЭС КДВ для  $HEM_{11}$ -мод, представленной на Рис.2. Последовательные ветви ( $L_{1,n}$ ,  $C_{1,n}$ ,  $r_{1,n}$ ) отражают наличие электромагнитного поля ячеек  $E_{11}$ -типа. Связь между ячейками представляется взаимными индуктивностями  $M_n$  и параллельными ветвями ( $L_{2,n}$ ,  $C_{2,n}$ ,  $r_{2,n}$ ), отражающими магнитную связь и связь за счет электромагнитного поля ячеек  $H_{11}$ -типа. Возбуждение ячейки пучком моделируется комплексными ЭДС  $E_n$  в последовательных ветвях.

Заметим, что в ЭС число параллельных ветвей равно  $N+1$ , а число последовательных ветвей равно  $N$  – числу ячеек в секции. Первая и последняя параллельные ветви, имеющие индексы 0 и  $N$ , вводятся для моделирования запредельных пролетных трубок для пучка во входном и выходном каплерах. Резонансная частота  $f_{1,1}$  и добротность  $Q_{1,1}$  последовательной ветви ячейки входного каплера были выбраны так, чтобы в КДВ, состоящем из одинаковых ячеек, подобных второй, был реализован режим бегущей волны с частотой  $f_{\text{dip}}$  и сдвигом фазы на ячейку  $j_{\text{dip}}$ .

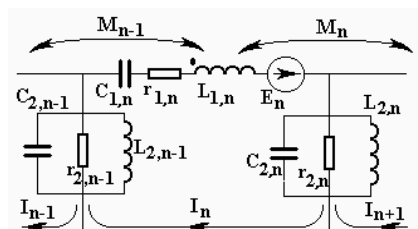


Рис.2. Эквивалентная схема КДВ на гибридной моде.

Используя ЭС, были рассчитаны напряжения на емкостных элементах  $C_{1,n}(\dot{U}_{zn})$  на разных частотах для первых 30 ячеек ускоряющей секции SBLC [3] (см. рис.3). Кривые на этих графиках относятся к случаям, когда входной каплер рассогласован (кривая 1) и согласован с КДВ (кривая 2) на  $f_{\text{dip}}=4.151$  ГГц ( $j_{\text{dip}}=95^\circ$ ). Возбуждение ускоряющей секции моделировалось введением источника ЭДС в ячейки 2, 8 и 18 на частотах 4.13760, 4.14495 и 4.15908 ГГц соответственно. Резонансная частота и добротность последовательной ветви ячейки каплера были получены следующими  $f_{1,1}=4.846777$  ГГц и  $Q_{1,1}=14.7$ . Эти величины соответствуют наименьшей резонансной частоте всей ячейки каплера  $f_c=4.152224$  ГГц и ее добротности  $Q_c=160$ .

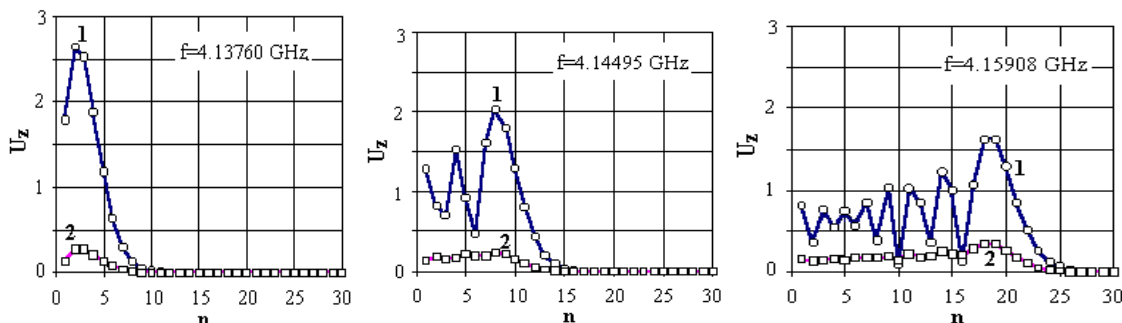


Рис. 3. Напряжения  $U_z$  в ячейках в зависимости от номера ячейки  $n$ .

Из рис. 3 можно видеть, что настройка каплера на гибридной волне снижает амплитуду электрического поля более чем в 5 раз в широком частотном диапазоне. Аналогичные результаты для КДВ с постоянным градиентом, но без каплера были представлены в статье [3].

## 2. Распределение амплитуды полей мод высшего порядка

Дипольные моды изучались на начальном метровом участке ускоряющей секции с симметричным каплером, согласованным на основной частоте. Измерения выполнялись методом малых возмущений, перемещая цилиндрическое тело (диаметром 0.1 мм и длиной 8 мм) вдоль структуры на расстоянии 3 мм от оси симметрии. Запирание дипольных мод в структуре с постоянным градиентом демонстрируется на рис. 4. Первая запертая мода ( $F=4130$  МГц) занимает пять начальных ячеек, имеет похожее на р-вид распределение и не проникает в ячейку каплера. На частоте  $F=4161$  МГц поле р-вида занимает ячейки с 24 по 30 и трансформируется по своему виду вдоль структуры по направлению ко входному каплеру, в котором на этой частоте поле начинает только появляться.

На более высоких частотах ( $F=4164\div 419$  4МГц) поле проникает в полость каплера и имеет амплитуду, сравнимую с амплитудами поля в соседних ячейках, но при этом мода р-вида должна находиться в ячейках с номерами выше 30 (см. рис.4). Очевидно, что собственные частоты ячейки каплера на ТМ<sub>11</sub>-модах и первых ячеек структуры SBLC сильно отличаются. Таким образом, для обеспечения связи первой дипольной моды со входными волноводами через ячейку каплера, необходимо привести в соответствие собственную частоту каплера к частотам первых ячеек.

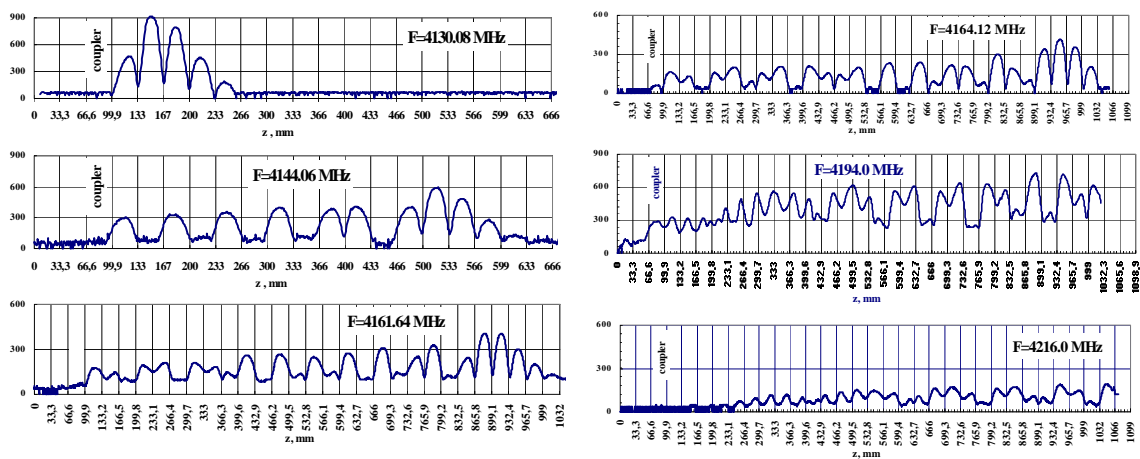


Рис. 4. Распределение продольной составляющей амплитуды электрического поля (в усл. единицах) в первых 30 ячейках структуры SBLC.

## 3. Влияние собственной частоты ячейки каплера на распределение полей дипольных мод вдоль структуры

Влияние собственных параметров ячейки каплера на распределение поля запертой моды можно наблюдать на рис.5, на котором представлены распределения амплитуды по длине КДВ для случаев каплера первоначальной конструкции (а) и каплера с пониженной на 30 МГц собственной частотой  $f_c$  (б). Путем изменения положений короткозамыкающих поршней 3 и настроечных штырей 1 (см. рис.1) удалось снизить  $Q$  с 8000 до 2000-4000 в полосе частот около 20 МГц. Полученные зависимости добротности в полосе частот для минимальных величин на отдельных частотах 4152 МГц (а) и 4146 МГц (б) Х- поляризации показаны на рис.6.

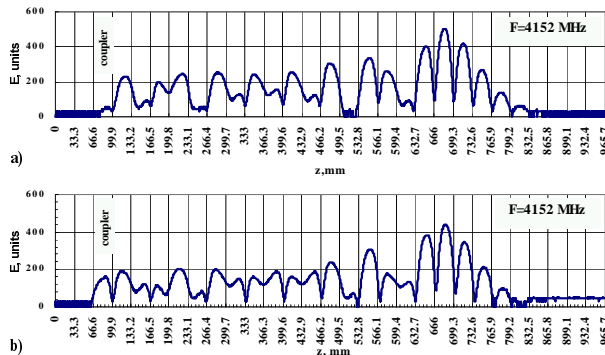


Рис. 5. Амплитуда электрического поля в зависимости от собственной частоты каплера.

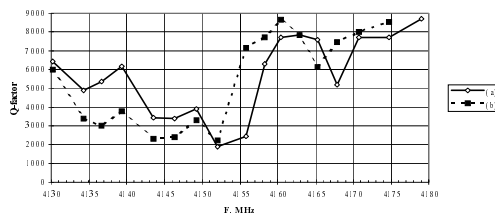


Рис. 6. Зависимость внешней добротности от частоты.

Собственные частоты каплера с четырьмя отверстиями связи для дипольных мод обеих поляризаций понижаются слишком сильно. Причем различная ширина щелей связи приведет к расхождению собственных частот каплера разных поляризаций одной моды на 50-70 МГц. Это демонстрируется на рис.7, где добротности запертых мод Y-поляризации (а- F=4145 МГц и б- F=4152 МГц) понижаются, тогда как добротности мод с X-поляризацией не меняются (с).

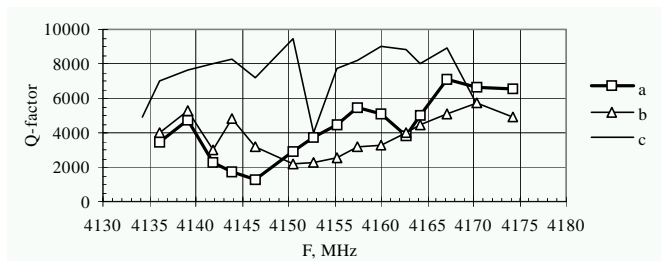


Рис. 7. Зависимость внешней добротности в полосе частот.

Такая проблема расхождения частот разных поляризаций может быть решена, если отказаться от симметрии дипольных мод в ячейке каплера. Это реализуется размещением поглощающей нагрузки только в одном плече ввода для X-поляризации. В этом случае мы обеспечиваем требуемое понижение добротностей запертых мод обеих поляризаций более чем в три раза в частотном диапазоне от 4130 до 4160 МГц с помощью изменения собственных параметров каплера.

## Заключение

Полученные расчетные и экспериментальные результаты находятся в соответствии друг с другом, что позволит в последующем с достаточной степенью достоверности применять анализ гибридных волн с помощью ЭС.

Дальнейшие шаги по одновременному согласованию каплера на основной и гибридной модах состоят в изучении влияния на эти моды различных элементов, вставляемых внутрь полости каплера. Эта проблема, связанная со сложными расчетами и экспериментами на прототипах, в настоящее время находится на стадии разрешения.

## Литература

[1]. N.P.Sobenin, S.V.Ivanov, V.E.Kaljuzhny, O.S.Milovanov, A.N.Parfenov, S.N.Yarigin, M.Dohlus, N.Holtkamp, "Design and Performance of Symmetric High Power Coupler for 6 Meter S-band Linear Collider Acceler. Section", DESY M94-11, p.32 (1994).

[2]. N. Holtkamp, t. Weiland et al. "Structure Work for an S-band Linear Collider" Proc. of 15 International Conference on High Energy Accelerators. , p830, v.2, (1992)

[3]. G.V. Romanov, S.N. Ivanov, M. Dohlus, N. Holtkamp, "Some Remarks on the Location of Higher Order Modes in Tapered Accelerating Structures with the Use of a Coupled Oscillator Model". Proc. 1995 Particle Accelerator Conference and International Conference on High-Energy Accelerators., p2345, v.4. (1996)