

тор. В нем более быстрые электроны добираются до более глубоких участков, находящихся под более низким потенциалом. Каждый электрон тормозится в таком коллекторе почти до полной остановки.

Одна волна сменить спешит дружку

А куда спешит волна? В ЛБВ, например, она могла спешить в обе стороны. Только в одну сторону она усиливалась, подкачиваясь от пучка, а в другую бежала сама по себе, понемногу затухая. За счет этой обратной, отраженной от конца замедляющей системы, волны ЛБВ возбуждалась, поэтому обратную волну подавляли поглощающей вставкой.

Нельзя ли сделать некое подобие ЛБВ, в которой будет усиливаться обратная волна? Тогда замыкание цепи обратной связи будет автоматическим, даже без учета отражений на концах: в одну сторону энергия будет переноситься электронами, в обратную — волной. Возникать колебания будут от случайных флуктуаций, а поддерживаться — за счет возбуждения колебаний в электронном пучке усиленной волной (в начале пучка) и за счет возбуждения волны тормозящимся при этом пучком (в конце пучка). При малом токе пучка колебания возникать не будут, и такой прибор можно будет использовать как усилитель, а в генераторном режиме его можно будет использовать, если синхронизовать маломощным высокостабильным генератором.

Все это очень увлекательно. Непонятно только, как сделать, чтобы электроны отдавали энергию волне, спешащей навстречу им. Нам кажется, и не без причин, что это невозможно. Зная, как работает ЛБВ, мы прямо видим, как летят слева направо волна и электронный сгусток (рис.3), как сгусток чуть-чуть обгоняет волну, попадая в область тормозящего поля, и начинает тормозиться, отдавая свою энергию волне (боль-

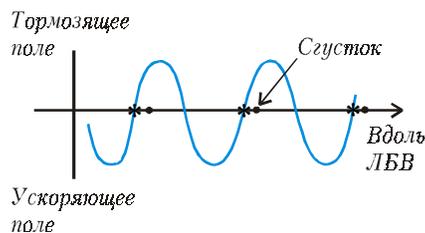


Рис. 3. Волна и электронные сгустки

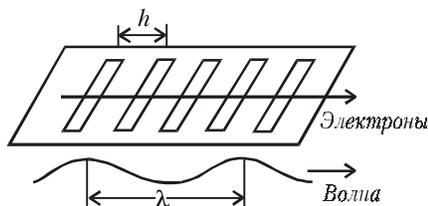


Рис. 4. Электроны заглядывают в окна

ше некому). Если же волна бежит навстречу электронам, электроны не будут отдавать ей энергию потому, что они не будут долго лететь рядом с нужным для отдачи энергии местом (изображенном звездочкой на рисунке 3). А обязательно ли лететь рядом с этим местом долго? Собственно, нет...

Представьте себе, что электронный пучок летит с одной стороны от металлического экрана с окнами, а волна бежит с другой — рисунок 4. Пусть электронный сгусток, пролетая мимо окна, увидел там тормозящее поле, притормозился, отдал часть энергии и полетел дальше. У следующего окна он опять увидел тормозящее поле и опять пострадал. Вы сразу же видите, что таким способом можно усиливать волну, не обязательно имеющую ту же скорость, что и электронный сгусток. Важно лишь, чтобы электрон, пробегая мимо окон, видел в них одинаковые фазы колебаний.

Обозначим скорость электронов v , скорость волны w , шаг окон h , длину волны λ . Тогда за время h/v электрон может пробежать не одну длину волны λ , а $n\lambda + h$ длин волн, т.е. скорость волны может быть не h/w , а $(n\lambda + h)/w$. Итак, условие работоспособности: $(n\lambda + h)/w = h/v$. При этом сгусток будет в следующем окне видеть не то место волны, с которым взаимодействовал в предыдущем окне, а другое. Но что с того? Он будет отдавать энергию, а волна будет усиливаться.

Теперь сделаем последний шаг в наших рассуждениях — скажем, что n может быть и отрицательным. Тогда электрон будет взаимодействовать в следующем окне не с «тем местом» волны, с которым взаимодействовал в прошлом окне, и не с «местом», лежащим сзади него (как при $n = 1$), а с «местом», лежащим впереди него. Волна будет бежать навстречу и ... усиливаться!

Помните, как в кино вертится назад винт самолета или колесо у телеги? Попробуйте ответить на вопрос:

как видимое направление вращения зависит от истинной угловой скорости колеса при частоте кадров 24 кадра в секунду? Вот нечто подобное и «видит» электрон, заглядывая в окошки. Только видит он не 24 кадра в секунду, а существенно больше. Вот такое кино...

Алмаз не для прикрас

Конструирование — всегда компромисс. Если больше мощность — то меньше диапазон частот, а если нет — то короче срок службы или дороже прибор. И так одно за другое, то за третье, пятое и девяносто девятое...

Заказчики, как правило, желают улучшения одних параметров, но вовсе не согласны допустить ухудшения других. Посмотрим, к чему это приводит в технике электровакуумных приборов.

При определенной длине волны резонаторы в клистроне и спираль в ЛБВ имеют определенные размеры. Какая-то доля электронного пучка перехватывается сеткой в зазоре резонатора или спиралью. Пучок перехватывается — мощность выделяется. Раз размеры определенные, то и плотность мощности (измеряется обычно в Вт/см²) определенная. Мощность выделяется — деталь нагревается. Плотность мощности определенная — температура определенная. Деталь нагревается — металл испаряется или плавится. Если плавится, то все ясно. А если испаряется, то пары оседают или на изоляторах, превращая их в проводники, или на катоде, изменяя его состав до потери работоспособности. Чем короче длина волны и больше мощность, тем быстрее испаряется и плавится деталь.

Что делать? Во-первых, можно искать конструкции, в которых меньше плотность мощности, выделяющейся на поверхностях электровакуумных приборов. Ну конечно, электронный пучок не должен перехватываться тем, чем не должен. Но при попытке сжать пучок сильнее он теряет ламинарность. Такой пучок не удастся сильно затормозить (рекуперировать) на коллекторе, КПД прибора падает. Вот это и есть «одно за другое»...

Не будем разматывать эти клубки до девяносто девятого, но поверьте — эта цифра не преувеличена. В лампе бегущей волны все связано одно с другим. Жизнь вообще так устроена.