

Рис. 1. Лампа бегущей волны

места волны, где поле меняет знак – сзади оно ускоряющее, спереди тормозящее, – как люди перед входом в метро в час пик.

Что объединяет и что отличает лампу бегущей волны (ЛБВ) и клистрон? Первое и важнейшее отличие: у клистрона – резонаторы, у ЛБВ – спираль, нерезонансная замедляющая система. Поэтому клистрон – прибор узкополосный, а ЛБВ – широкополосный. Это свойство важно для систем передачи информации. Правда, замедляющая система может быть не только спиральная. Если мы поставим вдоль электронного пучка просто резонаторы и надлежащим образом возбудим в них колебания, то такая ЛБВ тоже будет работать. Надлежащим образом – это так, чтобы разность фаз между колебаниями в соседних резонаторах была такой, чтобы подлетающие электроны встречали волну в нужной фазе. Такие замедляющие системы называются системами со связанными резонаторами. Связь – это как раз то, что нужно для организации «нужных фаз».

(Ясно, что можно взять один конец от одного прибора, а другой – от другого. Если создавать исходную модуляцию, как в ЛБВ, потом давать электронам подрейфовать, а снимать сигнал с пучка резонатором, как в клистроне, получится один гибридный прибор. Если же создавать исходную модуляцию, как в клистроне, а снимать сигнал с пучка, как в ЛБВ, получится другой гибридный прибор. Этот прибор сочетает (в некоторой мере) сильные стороны ЛБВ и клистрона и называется твистроном.)

Мы можем провести границу между замедляющими системами на связанных резонаторах и многорезонаторными клистрономы именно здесь: в клистроне резонаторы связаны только электронным пучком, в лампах бегущей волны – еще и электромагнитной волной. Эта связь имеет важное следствие – в ЛБВ электромагнитная волна может бегать и туда и обратно. По пути «туда» ее усиливает электронный поток, а на обратном пути она только затухает,

и если усиление окажется больше затухания, лампа возбуждается, превратится в генератор. Для защиты от возбуждения в ЛБВ вводится так называемая поглощающая вставка – деталь из вещества, сильно поглощающего электромагнитное излучение. Она устанавливается в середине ЛБВ и сильно ослабляет электромагнитную волну (как бегущую «туда», так и бегущую «обратно»). Усиление при этом, конечно, уменьшается, но – как это ни странно – не очень сильно, так как через участок с поглощающей вставкой энергию пронесет электронный пучок. Зато возможность возбуждения исчезает – ведь обратно электронный пучок энергию не переносит. Конечно, каждая из половинок ЛБВ – это тоже ЛБВ, и она тоже может возбуждаться... Одним словом, реальная ситуация всегда будет сложнее, сколько ни рассказывай.

Из чего делать поглощающую вставку? В диэлектрик электромагнитная волна проникает, но в металл она почти не проникает. Так что поглощающие вставки должны делаться из «плохого проводника» – чего-то такого, во что электромагнитная волна проникает и в чем она поглощается. Часто вставки делают из углерода, точнее – из тонких углеродных пленок, нанесенных на диэлектрик.

Архитектура лампы бегущей волны

Мы начали с аналогии между лестницей и спиральной замедляющей системой. Раньше всех в ЛБВ была использована в качестве замедляющей системы спираль. Конструктивно простая, технологичная и позволяющая создавать широкополосные ЛБВ, она стала символом ЛБВ. Но время шло, требования к мощности и рабочей частоте ЛБВ увеличивались. А спираль трудно охлаждать – она закрепляется на диэлектрических опорах, которые проводят тепло плохо. Далее, при длине волны меньше 5 мм сделать спираль становится трудно. Для работы в области больших мощностей и малых длин волн применяются другие замедляющие системы. На рисунке 2 показаны несколько таких систем, состоящих из отдельных резонаторов, связанных отверстиями, через которые электромагнитное поле проникает из одного в другой.

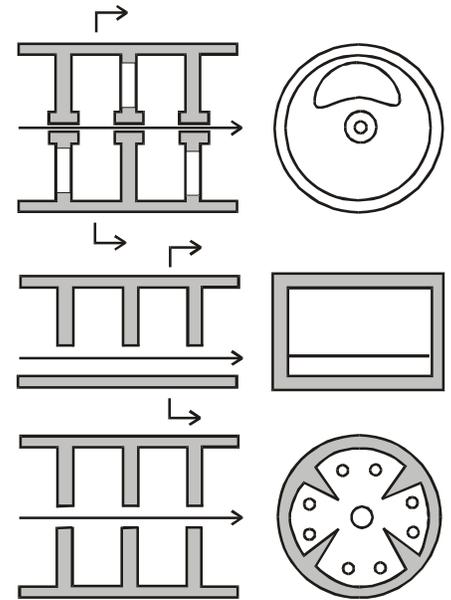


Рис. 2. Замедляющие системы. Горизонтальная стрелка – электронный пучок. Нижняя замедляющая система имеет поэтическое название «клеверный лист»

Энергия, подводимая к ЛБВ, превращается в кинетическую энергию электронов. И вот она начала передаваться электромагнитной волне. Энергия электронов уменьшается, летят они все медленнее, и, наконец, скорости их уравниваются со скоростью волны. Передача энергии прекращается. Как сделать, чтобы то, что у электронов осталось, было поменьше? Как выкачать из электронов побольше? Один из путей – сделать так, чтобы скорость волны уменьшалась при ее движении вдоль ЛБВ. Например, можно изготовить спираль с переменным шагом. Таким способом можно уменьшить энергию, остающуюся у электронов. Ну, а с ней что делать? Ведь вся энергия, с которой электроны долетают до коллектора, во-первых, нагревает его, порождая свой круг проблем (охлаждение, перегрев и т.д.), а во-вторых, теряется зря.

Решение этой задачи – так называемая рекуперация. На коллектор подается потенциал ниже, чем у замедляющей системы, и поэтому электроны, прежде чем поглотиться металлом коллектора, подтормаживаются. Расход энергии на питание лампы уменьшается. Рост КПД при использовании рекуперации порядка 10%. Это немало. Бывает, что удастся получить и больше, в частности, если применен многоступенчатый коллек-