

Длинная дорога от ВХОДА К ВЫХОДУ

Л. АШКИНАЗИ

Наперегонки с лифтом

Вполне возможно, что изобретатель лампы бегущей волны Р.Компфнер придумал ее в 1944 году, поднимаясь по какой-нибудь лестнице. Особенно удобно было бы сделать это изобретение, если бы в середине лестничного проема медленно двигался лифт, а человек, быстро поднимающийся по лестнице, мог бы заглядывать в кабину. Или, скажем, чуть-чуть от нее отставать...

Конечно, восстановить, как именно было сделано изобретение, трудно. Можно иногда выявить ход рассуждений изобретателя, но как уловить движение ощущений, предчувствий, интуиции? Технический детектив в чем-то, по-видимому, сильно отличается от просто детектива, ибо хороших детективов много, а хороших технических детективов почти нет.

Представьте себе, что лифт движется чуть быстрее человека и из него подталкивают бегущего по винтовой лестнице человека – быстрее, быстрее! Согласно третьему закону Ньютона, на лифт будет действовать сила, направленная против движения, он будет тормозиться и отдавать свою энергию человеку, бегущему по лестнице. В итоге их скорости уравниваются. Не обвивайся лестница вокруг шахты лифта, ничего бы не получилось – человек движется по прямой лестнице быстрее лифта. А если она обвивается, длина ее увеличивается.

Аналогично, можно подобрать угол

наклона витков спирали («лестницы») и скорость электронов («лифта») так, чтобы электромагнитная волна, бегущая по спирали, имела почти ту же скорость перемещения вдоль оси спирали, что и электроны.

Чем выше частота, тем ближе к поверхности металла сосредотачивается ток. Это явление называется скин-эффектом (skin по-английски – кожа). На частотах СВЧ-диапазона толщина скин-слоя составляет единицы микрон. Так же, прижимаясь к проводу, распространяется вдоль него и электромагнитная волна, отдаляясь от поверхности не далее чем на расстояние порядка длины волны. Однако бежит эта волна «по и около» проводника быстро, ее скорость сравнима со скоростью света. И хотя разогнать до такой скорости электроны можно, для этого нужны напряжения в сотни киловольт, а это неудобно. Но ничего, мы уже знаем, как «замедлить» волну, – надо заставить ее бегать по спирали (по «лестнице»).

Итак, возьмем проволоку, свернем ее в спираль и запустим в один ее конец электромагнитную волну. По оси же пропустим электронный пучок и начнем варьировать энергию (скорость) электронов. Когда энергия электронов будет такая, что скорость их станет чуть больше скорости волны («осевой» скорости), начнется «перекачка» энергии от электронов к волне, и с выходного конца спирали мы получим более мощную

волну и «хилые» – с уменьшенной энергией – электроны.

Длиннохвостыми интегралами, взволнованно повествующими о судьбе электронов и волн в лампе бегущей волны, заполнены тома. И в этом смысле – в смысле интегралов – первым изобретателям было легче. Сейчас техника ушла в плане насыщенности физикой так далеко, а физика ушла так далеко в плане насыщенности математикой, что среди людей выделяются два подвида – люди знающие и люди делающие. Единственный путь борьбы с этой небиологической эволюцией это знать математику – язык физики и знать физику – язык техники. Тогда вы будете делать, зная.

Реальная ситуация в лампе бегущей волны, конечно, сложнее. В спирали, а точнее в «спиральной замедляющей системе», могут распространяться не одна, а несколько волн. Не все они двигаются чуть медленнее пучка, не все они усиливаются... Но об этом уже «на пальцах» рассказать нельзя. А о том, о чем можно рассказать просто, удобнее рассказывать, опираясь на то, что мы уже знаем.

Танцуем от печки, т.е. от клистрона

В конце концов, клистрон был изобретен раньше, да и «идеология» его проще. Так вот, в лампе бегущей волны, как и в клистроне, происходит преобразование модуляции по скорости в модуляцию по плотности. Только напряженность поля у спирали меньше, чем в резонаторе (в резонаторе есть резонанс). Поэтому нужен большой путь – и электронам и волне надо пройти много витков спирали, чтобы возникла заметная модуляция, а потом, по мере преобразования модуляции, волна начинает усиливаться, отбирая энергию от собирающихся в сгустки электронов (рис.1). Собираются электроны в те

Эта статья является органичным продолжением двух предыдущих статей того же автора: «113 лет ошибке Эдисона» («Квант» №5 за 1996 г.) и «Электронный прибор» («Квант» №4 за 1997 г.).

Серия статей Л.Ашкинази посвящена современной вакуумной электронике, ее физическим основаниям и историческим истокам.

Разумеется, каждую статью можно читать и независимо, но для более полного и глубокого восприятия и получения цельной картины мы рекомендуем заинтересованному читателю изучать эти статьи в указанной последовательности.