

Б. Н. БОНДАРЕНКО, И. И. ВОРОТЫНЦЕВА

АВТОФАЗНЫЙ СВЧ-КОНВЕРТОР С МНОГОКРАТНЫМ ВВОДОМ ЭНЕРГИИ

Основные закономерности работы автофазной ЛБВ (АЛБВ) в прямом режиме достаточно подробно описаны в работе [1]. Коротко напомним основные моменты механизма взаимодействия в приборах автофазного типа. Сгруппированный электронный пучок встреливается в пространство взаимодействия, где сопротивление связи значительно, например на порядок больше, чем в группирующей секции. При выполнении определенных условий [2; 3] электронные сгустки захватываются бегущей волной в минимуме ее потенциала и дрейфуют со скоростью, равной фазовой скорости волны, сохраняя при этом устойчивость. Смещая статическим электрическим полем сгусток в тормозящую фазу поля, можно достичь высокого уровня преобразования энергии статического поля в энергию СВЧ-волны [4]. Изменяя знак тянущего статического поля и смещая сгусток в ускоряющую фазу СВЧ-поля, можно эффективно реализовать режим обратного преобразования [5]. В данной работе методом численного моделирования исследован режим обратного преобразования и общая схема реализации такого режима. Согласно этой схеме на вход группирующей секции подается сигнал, достаточный для группировки сгустка. Сама группирующая секция может быть реализована разными способами. Это может быть, например, отрезок ЛБВ. На вход автофазной секции подается значительная входная СВЧ-мощность. Благодаря мерам фазировки влетающие сгустки занимают фазовое положение на дне потенциальной ямы бегущей волны, а смещающее статическое поле обуславливает давление сгустков на стенку ямы со стороны ускоряющего поля. Такая схема реализации предполагает наличие естественных ограничений на преобразуемую СВЧ-мощность и КПД преобразования.

Уровень входной мощности определяется условиями реализации транспортировки протяженного пучка в пространстве взаимодействия. При этом верхний предел СВЧ мощности, преобразуемой в постоянную, определяется условиями сохранения финитного движения сгустка и волны [3; 5]:

$$\frac{|E_{ст}|}{E_0} < \frac{|q| \omega^2 K_0}{|v_0 - u_0|} \quad (1)$$

где $E_{ст}$ — напряженность статического поля; E_0 — напряженность СВЧ-поля; q — заряд электрона; ω — частота; K_0 — сопротивление связи; v_0 — дрейфовая скорость; u_0 — групповая скорость волны.

Распаду сгустка также способствует наличие мощных поперечных переменных полей. Электроны, покинувшие сгусток и вылетевшие из потенциальной ямы, будут инфинитно смещаться вдоль пространства взаимодействия, отбирая энергию на ускорение, а также оседать на замедляющую систему. Оба эти явления снижают КПД преобразования.

Имеется также нижний предел по СВЧ-мощности, при котором автофазный механизм преобразования прекращается. В случае разового ввода в пространство взаимодействия СВЧ-мощности и последующего ее преобразования в мощность тока, глубина потенциальной ямы уменьшается вдоль пространства взаимодействия, так что в конце концов поле бегущей волны уже не в состоянии удерживать электронный сгусток в заданных фазовых отношениях. Обмеление потенциальной ямы до критического уровня имеет место при значительных остаточных значениях входной СВЧ-мощности. Эта остаточная мощность, как показал численный расчет, при однократном вводе энергии может достигать 30 %. Специальными методами управления ее можно снизить. Для этого необходимо выполнить замедляющую систему с увеличивающимся к выходному концу сопротивлением связи. Однако при этом необходимо учесть изменение дисперсии замедляющей системы, что обуславливает наличие нарастающих трудностей фазирования пучка и поля.

В целях разрешения указанного противоречия было предложено выполнить в выходной части АЛБВ несколько вводов СВЧ-мощности, что позволяет продлить длину пространства взаимодействия, на котором выполняется усилие удержания электронного сгустка в потенциальной яме поля бегущей волны [1]. Ввод оче-

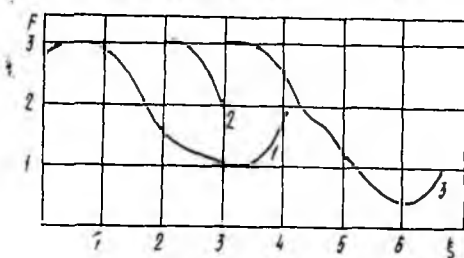


Рис. 1

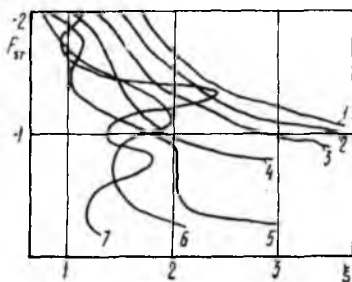


Рис. 2

редной СВЧ-мощности технически может быть реализован путем использования направляющих устройств связи, например, типа направленный ответвитель. Представляет интерес построение такого метода управления процессом преобразования, чтобы дополнитель-

ная вводимая СВЧ-мощность и пучок находились в оптимальных фазовых соотношениях. При этом, однако, дополнительную трудность представляет то, что дополнительные вводы энергии расположены на фиксированных взаимных расстояниях, в то время как в зависимости от параметра режима необходимость дополнительной подкачки СВЧ-энергии может возникнуть в точке, находящейся до момента ввода. Эти затруднения могут быть устранены оптимальным подбором напряженности электростатического тормозящего поля. Указанные выше особенности обуславливают необходимость модельных исследований реализации режима обратного преобразования при различных значениях параметров процесса. Исследования проводились путем численного анализа в режимах одномерной модели автофазной ЛБВ, впервые описанной в работе [1].

На рис. 1 показаны зависимости безразмерной амплитуды высокочастотного поля в автофазной секции. В точке $\xi=2$ и $\xi=3$ введена дополнительная СВЧ-мощность, что позволило продлить процесс обратного преобразования энергии и существенно увеличить КПД преобразования. На рис. 2 представлены обобщающие графики зависимости, по которым можно оптимальным образом подобрать параметры статических полей в пространстве взаимодействия между вторым и третьим дополнительными вводами энергии при различных значениях напряженности тормозящего поля в начале автофазной секции. Представленные зависимости позволяют при фиксированных расстояниях между вводами энергии оптимальным образом управлять процессом обратного преобразования энергии.

Модельные исследования позволяют утверждать, что предложенный способ преобразования энергии действительно позволяет продлить цикл с обратного преобразования и построить эффективный конвертор. При невыполнении условий автофазности дополнительный ввод энергии не может предотвратить разрушение сгустка. Анализ результатов расчета позволяет утверждать, что скачок сопротивления связи при переходе от группировки к автофазной секции должен быть достаточно большим, соответствующим коэффициенту перехода, равному примерно 100, дополнительный ввод энергии должен осуществляться до нарушения условий захвата при сохранении хорошей группировки, а расстояние между вводами СВЧ-мощности уменьшается по мере увеличения длины автофазной секции.

Список литературы: 1. Бондаренко Б. Н., Крыжановский В. Г. Двухсекционная ЛБВ с автофазной выходной секцией. Сообщение 1. Вывод рабочих уравнений//Радиотехника. 1979. Вып. 51. С. 112—117. 2. Двухсекционная ЛБВ с автофазной выходной секцией. Сообщение 2. Основные закономерности работы//Б. Н. Бондаренко, В. Г. Крыжановский, А. И. Хохлов, В. Г. Шульта//Там же. С. 117—120. 3. Бондаренко Б. Н., Крыжановский В. Г., Димашко Ю. А. Условия захвата электронного сгустка замедленной электромагнитной волной. Электроника миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов//Сб. науч. тр. К., 1988. С. 115—121. 4. Бондаренко Б. Н., Крыжановский В. Г., Макаренко И. Б. Анализ оптимальных условий захва-

та электронного сгустка в автофазной лампе бегущей волны//Радиотехника. 1988. Вып. 87 С. 135—138. 5. Бондаренко Б. Н., Крыжановский В. Г., Димашко Ю. А. Предельный КПД автофазной ЛБВ//Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1985. 28, № 10. С. 99—101. 6. Бондаренко Б. Н., Крыжановский В. Г. Реализация режима обратного преобразования в автофазной ЛБВ//Радиотехника. 1981. Вып. 57. С. 114—118.

Поступила в редколлегию 20.09.89