

роны), так же, как и ЛОВМ с распределённой эмиссией катода (амплитроны), работают в качестве У. э. к. СВЧ в режиме синхронизир. автогенераторов; первые обладают более высокими  $K_p$ , вторые позволяют получать большие уровни мощности при КПД до 80÷86%. Выходные мощности усилит. пролётных кластронов могут достигать 1 МВт в дециметровом, 300 кВт в сантиметровом и 10 кВт в миллиметровом диапазонах в непрерывном режиме и соответственно 100 МВт и 100 кВт — в импульсном; КПД до 50%; ширина полосы пропускания до 10%;  $K_p = 30 \div 45$  дБ.

У. э. к. в функциональной микроэлектронике строятся на основе активных (регенерированных) распределённых, гибридных или цепочечных систем, в к-рых за счёт того или иного физ. механизма происходит частичная или полная компенсации потерь энергии. Такими механизмами могут быть туннельный эффект, доменная неустойчивость в полупроводниках, лавинное умножение носителей зарядов и др., однако по причинам технол. и эксплуатац. характера эти усилители бегущей волны пока не нашли широкого техн. применения.

Лит.: Ризкин А. А. Основы теории усилительных схем, 2 изд., М., 1954; Кабанов Д. А., Функциональные устройства с распределёнными параметрами, М., 1979; Вамберский М. В., Казанцев В. И., Шелухин С. А., Передающие устройства СВЧ, М., 1984; Давыдова Н. С., Данюшевский Ю. З., Диодные генераторы и усилители СВЧ, М., 1986; Шварц Н. З., Усилители СВЧ на полевых транзисторах, М., 1987; Остапенко Г. С., Усилительные устройства, М., 1989; Радиоприёмные устройства, под ред. А. П. Жуковского, М., 1989. Н. Н. Фомин.

**УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ** — элемент, применяемый в оптич. системах для увеличения распространяющегося в них светового потока и, следовательно, яркости (напр., яркости изображений). В обычных оптич. приборах, не имеющих У. я., можно с помощью линз, зеркал и т. п. пассивных элементов сконцентрировать световой поток на небольшой площади и сильно увеличить освещённость, но при этом яркость не увеличивается. В случае, когда в оптич. системе нет потерь, яркость сохраняется, что является простым следствием закона сохранения энергии.

На практике недостаточная яркость света часто существенно ограничивает возможности оптич. систем, в связи с чем и разрабатываются У. я., увеличивающие яркость за счёт подводимой к ним от внеш. источника энергии.

Существуют разные типы У. я., использующие разл. физ. принципы. Простейшим примером У. я. может служить *электронно-оптический преобразователь* (ЭОП), в к-ром оптич. изображение на фотокатоде с внеш. фотоэффектом преобразуется в пучки электронов. Затем электроны ускоряются электр. полем и на выходе фокусируются на слой люминофора, где изображение снова преобразуется в оптич. изображение. Благодаря сильному увеличению энергии электронов изображение на выходе ЭОП может быть значительно ярче исходного.

Даже проектор, дающий яркое изображение слайда, можно рассматривать как У. я. статич. изображения, т. к. яркость изображения на слайде при фотографировании может быть значительно меньше, чем при проекции. Телевизионная аппаратура тоже может рассматриваться как У. я., если она обеспечивает на экране большую яркость, чем на входе. Однако значительно больший интерес представляют оптич. управляемые транспаранты, называемые также пространственно-временными *модуляторами света*. Если интенсивность света, к-руму может модулировать транспарант, окажется больше интенсивности управляющего света, то оптич. управляемый транспарант является У. я., притом работающим в реальном времени.

Все упомянутые выше У. я. представляют собой усилители-преобразователи, т. к. в них оптич. изображение преобразуется в пучки электронов или в распределение пропускания транспаранта. Это накладывает определ. ограничения на характеристики таких У. я. (на пространственное разрешение и быстродействие). Спектральный состав излучения на выходе таких У. я. также обычно не совпадает с исходным. В ряде случаев это даже полезно, т. к. позволяет, напр., преобразовать невидимое глазом изображение

(ИК или УФ) в видимое. Наиб. важное ограничение усилителей-преобразователей заключается в потере информации о распределении фаз исходной световой волны; поэтому их используют для усиления яркости изображений, когда достаточно передать лишь распределение интенсивности по полю зрения. В принципе, если применять вместо управляемого транспаранта динамич. голограмму (см. *Динамическая голография*), то, восстанавливая световое поле светом большой яркости, можно восстановить его полностью, в т. ч. и распределение фаз, увеличив при этом его яркость. Пока такие У. я. не получили заметного применения в оптич. системах из-за трудностей создания динамич. голограмм.

Существует универсальный способ усиления света с помощью вынужденного (стимулированного) излучения, к-рый используется во всех *лазерах*. По своей природе вынужденное излучение позволяет усиливать любые пучки света, не внося в них искажений, т. к. оно повторяет все свойства вынуждающего излучения, включая фазу и поляризацию. У. я. на основе вынужденного излучения можно помещать в любое место оптич. системы, поскольку он не включает никаких преобразований. При этом возникает только один неустранимый источник помех — собственные шумы квантового усилителя.

В настоящее время (1990-е гг.) существует много разл. лазеров, работающих во всех диапазонах спектра — от рентгеновского до далёкого инфракрасного. Однако применение лазерных усилителей в оптич. приборах до сих пор весьма ограничено. Связано это с тем, что усилители в лазерах и оптич. системах используются по-разному. В лазерах обычно стремятся получить предельно высокую направленность излучения, применяя для этого *оптич. резонаторы* и ограничивая число генерируемых мод. В оптич. системах обычно требуется передать большой объём информации, заложенный в распределении амплитуд и фаз (иногда и поляризации) по полю зрения, на к-ром укладывается порядка  $10^6$  разрешаемых элементов. Такая «многоканальность» и есть одно из осн. преимуществ оптич. систем с У. я. Это накладывает дополнит. требования на У. я. для оптич. приборов, к-рый должен обладать большой угл. апертурой, чтобы пропустить большой объём информации, обеспечивать значит. усиление за один проход усиливающей среды и, естественно, не должен вносить искажений в усиливаемые световые поля. Достижение высокого усиления (а желательно иметь коэф. усиления 0,1—1,0 см<sup>-1</sup>) и составляет осн. трудность на пути создания лазерных У. я. для оптич. систем. Высокий коэф. усиления (при прочих равных условиях) легче получить для узкого спектрального интервала и в коротких импульсах.

Наиб. удобным для практич. применения оказались усилители импульсных лазеров на парах ряда металлов. Они обладают сравнительно высокой эффективностью и работают при высокой частоте повторения импульсов, что обеспечивает достаточно высокую ср. выходную мощность. Среди них чаще используется усилитель на парах меди, усиливающий на двух линиях в видимой области спектра ( $\lambda = 510,6$  нм и 578,2 нм). Этот усилитель работает в импульсном режиме с длительностью светового импульса 10—30 нс и частотой повторения импульсов 5—20 кГц. В России в течение ряда лет промышленностью серийно выпускается запаянная саморазогреваемая лазерная трубка на парах меди (тип УЛ-102), специально предназначенная для применения в качестве усилителя яркости в оптич. приборах. Активная зона этой трубки имеет диам. 2 см, длину 40 см, усиление за один проход составляет (по ср. мощности)  $10^3$ — $10^4$ , а ср. мощность на выходе усилителя ~1 Вт. В др. странах промышленный выпуск таких У. я. пока не налажен.

У. я. на парах меди используется в *лазерном микропроекторе*, в системах для лазерной обработки объектов с визуальным контролем за процессом на экране микропроектора, в системах маркировки деталей, для усиления телевизионных изображений, для локального масс-спектрометрич. анализа и т. п. Близкие характеристики имеют усилители на галогенидах меди.