

достаток такого усилителя заключается в зависимости коэф. усиления от фазы усиливаемого сигнала по отношению к фазе накачки, изменяющейся ёмкости.

От этого последнего недостатка свободны двухконтурные усилители (рис.), где по закону (\*) изменяется,

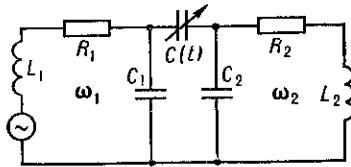


Схема двухконтурного параметрического усилителя.

напр., ёмкость связи  $C_{св}(t)$  между контурами, а частоты нормальных колебаний  $\omega_1$  и  $\omega_2$  удовлетворяют соотношению  $\omega_n = \omega_1 \pm \omega_2$ . Если связь между контурами слабая, то значения  $\omega_1$  и  $\omega_2$  близки к собств. частотам контуров. Один из них настраивается на частоту входного сигнала, а другой («холостой») — на разностную частоту  $\omega_2 = \omega_n - \omega_1$ . Входное сопротивление (нагрузка) может быть включено как в первый контур (усиление на частоте сигнала), так и во второй (усиление с преобразованием частоты). Коэф. усиления в обоих случаях пропорц.  $1/(1 - m/m_*)^2$ , где теперь  $m_* = \sqrt{C_1 C_2 / C_{св}^2 Q_1 Q_2} (C_1, C_2 - \text{ёмкости контуров})$ , и при  $m \rightarrow m_*$ , как и в одноконтурном усилителе, наступает самовозбуждение (регенеративный усилитель).

В др. случае, когда «холостой» контур настраивается на суммарную частоту  $\omega_2 = \omega_n + \omega_1$ , самовозбуждение невозможно; энергия сигнала и накачки преобразуется в энергию колебаний на частоте  $\omega_2$ , и в результате возможно усиление колебаний, снимаемых со второго контура, по сравнению с входным сигналом. Такой регенеративный усилитель-преобразователь имеет сравнительно небольшой коэф. усиления, однако его достоинствами являются устойчивость и широкополосность. В двухконтурных усилителях обоих типов фаза колебаний в «холостом» контуре автоматически устанавливается оптимальной для усиления, так что коэф. усиления не зависит от фазы входного сигнала.

Возможность создания параметрич. генераторов и усилителей эл.-магн. колебаний была высказана в 1931 — 1933 Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси. Они разработали параметрич. машины (ёмкостные и индуктивные), преобразующие механич. энергию в электрическую за счёт изменений  $C$  или  $L$  механич. способом (при вращении вала), приводящих к параметрич. генерации. Однако практич. применение параметрич. устройств получили начиная с 50-х гг., когда появились полупроводниковые параметрич. диоды, ёмкость к-рых зависит от приложенного запирающего напряжения, и были изучены свойства сегнетоэлектриков (конденсатор с сегнетоэлектриком позволяет получить переменную ёмкость), а также ферритов и сверхпроводников (на основе к-рых может быть создана переменная индуктивность). Периодич. изменение параметров достигается подключением к системе источника накачки с частотой  $\omega_n$ .

Примером параметрич. генератора является параметрон, в к-ром используется то обстоятельство, что в зависимости от фазы нач. возмущения в одноконтурном параметрич. генераторе возможно возбуждение колебаний с одинаковыми амплитудами, но различающихся по фазе на  $\pi$ . Т. о., простейший параметрон «запоминает» фазу поступающего на него сигнала в двоичном коде и может быть использован в качестве элемента вычислит. устройств. Кроме того, параметрич. генераторы могут использоваться как делители частоты: в одноконтурном — возбуждаются колебания с частотой  $\omega_n/2$ , а в двухконтурном возможны режимы, когда частота одного из генерируемых колебаний равна  $\omega_n/n$ , где  $n$  — достаточно большое целое число.

В высокочувствит. приёмных устройствах СВЧ-диапазона, используемых в системах радиолокации, радиоастрономии, космич. связи и др., применяются

двухконтурные параметрич. усилители, обладающие низким уровнем собств. шумов. Причина малости шумов в том, что в них для усиления используются реактивные, в принципе лишённые шумов, элементы, тогда как в резистивных (ламповых, транзисторных) усилителях активный элемент неизбежно создаёт тепловые шумы, согласно *Найквиста формуле*. Параметрич. системы применяются также для умножения частоты и гетеродинамирования сигнала. В качестве колебат. систем в СВЧ-диапазоне используются объёмные резонаторы и элементы волноводной техники, а в качестве переменных ёмкостей — высокочастотные параметрич. диоды. Для дополнит. снижения собств. шумов используется охлаждение до темп-р жидкого гелия. Иногда применяются параметрич. усилители бегущей волны в виде цепочки резонаторов с параметрич. диодами, по к-рой распространяется сигнал. При надлежащей настройке резонаторов можно получить усиление в широкой полосе частот. Существуют также электронно-лучевые параметрич. усилители, в к-рых усиление сигнала достигается модуляцией электронного пучка.

В оптич. диапазоне частот для создания параметрич. генераторов и усилителей используются среды, параметры к-рых изменяются полем бегущей или стоячей волны накачки. В частности, если диэлектрич. проницаемость среды  $\epsilon$  изменяется по закону

$$\epsilon(r, t) = \epsilon_0 [1 + m \cos(\omega_n t - \mathbf{k}_n \mathbf{r})],$$

где  $\mathbf{r}$  — радиус-вектор точки, то возможно усиление или генерация пары волн с частотами  $\omega_1, \omega_2$  и волновыми векторами  $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ , если выполняются условия фазового синхронизма  $\omega_n = \omega_1 \pm \omega_2$ ,  $\mathbf{k}_n = \mathbf{k}_1 \pm \mathbf{k}_2$ . На этом основан принцип действия параметрич. генератора света.

Лит.: Лю и селл У., Связанные и параметрические колебания в электронике, пер. с англ., М., 1963; Эткин В. С., Гершензон Е. М., Параметрические системы СВЧ на полупроводниковых диодах, М., 1964; Каплан А. Е., Крайнов Ю. А., Рылов В. А., Параметрические генераторы и делители частоты, М., 1966; Основы теории колебаний, 2 изд., М., 1988. Л. А. Островский, Н. С. Степанов.

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ ЗВУКА** — устройства, основанные на использовании эффекта генерации комбинац. тонов при взаимодействии звуковых волн, в к-рых роль излучающей (приёмной) антенны играет область среды, где происходит нелинейное взаимодействие волн.

В параметрич. излучателях в одном случае — две ВЧ-волны (т. е. компоненты волны накачки), взаимодействуя друг с другом, порождают волну разностной частоты, излучаемую из области взаимодействия; в другом — модулированная по амплитуде или частоте ВЧ-волна накачки в результате детектирования средой возбуждает НЧ-волну на частоте модуляции. Область нелинейного взаимодействия является своеобразной «бестелесной» антенной, размеры к-рой определяют характеристику направленности излучателя. Поэтому даже при малых размерах излучателей волны накачки удаётся получить остронаправленное НЧ-излучение. Наряду с высокой направленностью достоинство параметрич. излучателя — отсутствие боковых лепестков диаграммы направленности и широкополосность; для существенного относительного изменения частоты излучения достаточно весьма незначительного изменения частоты накачки (в пределах ширины полосы резонансного излучателя волны накачки). Осн. недостаток параметрич. излучателя — его невысокая эффективность: доля энергии накачки, идущая на НЧ-излучение, обычно невелика и зависит от соотношения частот получаемой волны  $\omega_s$  и накачки  $\omega_n$ . Для оптимального режима отношение мощности НЧ-излучения  $W_s$  к мощности накачки  $W_n$  определяется ф-лой

$$W_s/W_n \approx 1/2 (\omega_s/\omega_n)^2.$$

Процесс генерации волны разностной частоты происходит по-разному, в зависимости от геом. параметров зоны взаимодействия волн накачки. Для плоского