

подводимую мощность при замене данной антенны гипотетич. ненаправленной антенной с кпд, равным 1, чтобы напряжённость поля в данном направлении (при неизменном расстоянии до точки наблюдения) осталась неизменной.

В приёмном режиме работы КУ для пассивной антенны совпадает с КУ этой же антенны в передающем режиме. Численно КУ в приёмном режиме характеризует отношение мощности, выделяемой в нагрузку при приёме на данную антенну, к мощности, выделяемой в нагрузку при приёме на ненаправленную антенну с кпд, равным 1. Предполагается, что обе антенны оптимально согласованы с нагрузкой и согласованы по поляризации с облучающей волной.

Г. А. Ерохин.

**УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ** — устройства, в к-рых осуществляется повышение мощности электрич. колебаний с частотами  $0 \div 3 \cdot 10^{12}$  Гц за счёт преобразования энергии стороннего источника питания (накачки) в энергию усиливаемых колебаний. Физ. явления, используемые для преобразования энергии, могут быть разделены на следующие осн. группы: взаимодействие эл.-магн. поля с управляемыми потоками носителей заряда в вакуумных или полупроводниковых усилит. элементах и приборах; перераспределение мощности по комбинац. частотам при изменении энергоёмкого параметра колебат. контура под воздействием источника накачки (см. *Параметрическая генерация и усиление электромагнитных колебаний*); вынужденное излучение возбуждённых частиц вещества, вызванное действием эл.-магн. поля (квантовые парамагн. У. э. к. — мазеры); взаимодействие эл.-магн. волн с распределёнными полупроводниковыми структурами с нелинейными или изменяющимися во времени параметрами.

Параметры, характеризующие свойства У. э. к.: количественная оценка самого эффекта усиления, энергетич. и шумовые показатели, а также мера искажений усиливаемых колебаний. Важнейшими показателями У. э. к. служат коэф. усиления мощности  $K_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ , напряжения  $K_U = U_2/U_1$  и тока  $K_I = I_2/I_1$ , где  $U_1, I_1$  и  $U_2, I_2$  — комплексные амплитуды гармонич. напряжений и токов соответственно на входе и выходе устройства;  $P_{\text{вх}}$  — мощность, подводимая к его входу;  $P_{\text{вых}}$  — мощность, отдаваемая им в заданную нагрузку. Осн. энергетич. показателями являются  $P_{\text{вых}}$  и кпд, определяемый как отношение  $P_{\text{вых}}$  к мощности, потребляемой от источников питания (накачки).

Искажения усиливаемых колебаний обусловлены несопадением реальных и идеальных характеристик У. э. к. вследствие как наличия реактивных элементов цепей (линейные искажения), так и нелинейности зависимостей, характеризующих физ. процессы в этих устройствах, в частности, нелинейности вольт-амперных, вольт-фарадных и др. характеристик усилительных элементов и приборов (нелинейные искажения). Существуют линейные искажения трёх видов: частотные, фазовые и переходные. Зависимость модуля коэф. усиления от частоты  $K(f)$  представляет собой *амплитудно-частотную характеристику (АЧХ)* У. э. к., к-рая вследствие наличия реактивных отличается от идеальной АЧХ, представляющей собой горизонтальную прямую на уровне  $K_{\text{ср}}$  — коэф. усиления на ср. частотах полосы пропускания, определяемой как разность граничных частот  $\Delta f = f_n - f_{\text{н}}$ , в пределах к-рой коэф. частотных искажений  $K = K(f)/K_{\text{ср}}$  не превышает заданного значения. Полоса пропускания должна быть больше или в крайнем случае равна ширине спектра усиливаемых колебаний. На СВЧ используются мощностно-частотные характеристики  $K_P(f)$ .

Фазовые искажения возникают, когда реальная фазочастотная характеристика (ФЧХ)  $\phi(f)$ , т. е. частотная зависимость реактивности не совпадает с идеальной, представляющей собой выходящую из начала координат прямую  $\phi(f) = -2\pi f t_d$ , где  $t_d$  — групповое время запаздывания (ГВЗ). При нелинейной ФЧХ (или неравномерной характеристике ГВЗ) гармонич. составляющие спектра усиливаемых колебаний смещаются во времени неодинаково

и на выходе У. э. к. получается колебание, отличное от входного.

При воздействии на вход У. э. к. скачкообразно меняющегося (ступенчатого) напряжения или тока на его выходе наблюдается переходный процесс, обусловленный существованием реактивных элементов. Изменения формы импульсных сигналов при усилении (переходные искажения) оцениваются с помощью переходной характеристики, представляющей собой зависимость от времени мгновенного значения выходного напряжения У. э. к.  $u_2(t)$  при мгновенном скачкообразном изменении напряжения на его входе  $u_1(t) = U_1 \delta(t)$ , где  $U_1$  — размах входного напряжения,  $\delta(t)$  — единичная ф-ция. Эти искажения характеризуются временем нарастания, в течение к-рого нормированная переходная ф-ция  $h(t) = U_2(t)/U_1$  изменяется от 0,1 до 0,9 своего установившегося значения, относит. значением наибольшего выброса, возникающего при колебат. характере переходного процесса, и неравномерностью вершины прямоуго. импульса, образуемой за время его действия.

Уровень нелинейных искажений при усилении гармонич. колебаний оценивается обычно по коэф. гармоник  $k_r = \sqrt{U_{2,2}^2 + U_{2,3}^2 + \dots}/U_2$ , где  $U_{2,2}, U_{2,3}$  — амплитуды напряжения высших гармоник колебаний, появившихся на выходе в результате искажений, или по коэф. отдельных гармоник  $k_{r,2} = U_{2,2}/U_2, k_{r,3} = U_{2,3}/U_2$  и т. д.; при малых искажениях используют понятие затухания нелинейности по 2-й гармонике  $a_{r,2} = 20 \lg(1/k_{r,2})$  и по 3-й гармонике  $a_{r,3} = 20 \lg(1/k_{r,3})$ . Для оценки нелинейных искажений из-за образования колебаний комбинац. частот при подаче на У. э. к. двух и большего числа гармонич. колебаний применяется коэф. интермодуляционных искажений  $k_{\text{инт}}$ , для изменения к-рого на вход усилителя подаются 2 гармонич. колебания с частотами  $f_1 = 50 \div 100$  Гц,  $f_2 = 5 \div 10$  кГц при соотношении амплитуд их напряжений  $U_1(f_1)/U_1(f_2) = 4/1$ . При этом  $k_{\text{инт}} = U_2(f_2 - f_1)/U_2(f_1)$ , где  $U_2(f_2 - f_1)$  — амплитуда напряжения комбинационной составляющей на выходе с частотой  $f_2 - f_1$ ;  $U_2(f_1)$  — амплитуда выходного напряжения с частотой  $f_1$ . Нелинейные искажения при усилении колебаний в виде импульсных последовательностей в значит. мере зависят от формы усиливаемых импульсов.

Зависимость амплитуды 1-й гармоники выходного напряжения от амплитуды гармонич. входного напряжения  $U_2(U_1)$  называется амплитудной характеристикой (АХ) У. э. к.; идеальная АХ — прямая, выходящая из начала координат под углом  $\alpha = \arctg K_{\text{ср}}$ . При больших  $U_1$  отклонение реальной АХ от идеальной обусловлено нелинейностью характеристик усилит. элемента и проявляется в нарушении линейной зависимости  $U_2(U_1)$ . Кроме того, реальная АХ не выходит из начала координат вследствие наличия в У. э. к. внутр. помех: шумов, фона, дрейфа. Линейным участком АХ определяется динамич. диапазон У. э. к., к-рый должен быть больше или в крайнем случае равен динамич. диапазону усиливаемого сигнала, характеризуемому превышением макс. уровня последнего над минимальным, выраженным в дБ.

Шумы в У. э. к. — это флуктуац. помехи, появляющиеся в результате хаотического теплового движения свободных носителей заряда (тепловые шумы), *дробового шума, фликкер-шума*, др. физ. явлений. Шумовые свойства У. э. к. характеризуются коэф. шума, определяемым отношением полной мощности выходных шумов к её части, создающейся за счёт шумов от источника колебаний:  $\text{Ш} = P_{\text{ш.вых}}/K_P P_{\text{ш.и.}}$ , где  $P_{\text{ш.и.}}$ ,  $P_{\text{ш.вых}}$  — мощности шумов соответственно источника колебаний и на выходе усилителя. Для оценки шумовых свойств малошумящих У. э. к.  $\text{Ш} \geq 1$  используется также шумовая темп-ра  $T_{\text{ш}} = (\text{Ш} - 1) T_0$ , где  $T_0 = 293$  К. Фон на выходе У. э. к. обусловлен влиянием сети электропитания, дрейф выходного напряжения возникает в результате изменений темп-ры, влияния радиации и старения усилит. элемента.

По характеру усиливаемых колебаний У. э. к. делят на гармонические и импульсные. В первых можно не считаться с переходными процессами, поскольку парамет-