тивные Д. ц. используют как дифференциаторы в аналоговых вычислит. устройствах. Простейшая пассивная Д. ц. показана на рис. 1, *а*. Ток i_C через ёмкость пропорционален производной приложенного к ней напряжения $i_C = du_C/dt$. Если параметры Д. ц. выбраны т. о.,

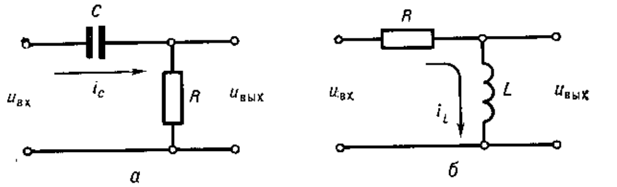

Рис. 1. Схемы пассивных дифференцирующих цепей: *а* — ёмкостной *RC*; *б* — индуктивной *RL*.

что $u_C \simeq u_{вх}$, то $i_C = C du_{вх}/dt$, а $u_{вых} \simeq RC du_{вх}/dt = \tau_0 du_{вх}/dt$. Условие $u_C = u_{вх}$ выполняется, если на самой верхней частоте $\omega_в$ спектра входного сигнала $R \ll (\omega_в C)^{-1}$. Вариант пассивной Д. ц. показан на рис. 1, *б*. При условии $R \gg \omega_в L$ имеем $i_L \approx u_{вх}/R$ и

$$u_{вых} \simeq L di_L/dt = LR^{-1} du_{вх}/dt = \tau_0 du_{вх}/dt.$$

Следовательно, при заданных параметрах Д. ц. дифференцирование тем точнее, чем ниже частоты, на к-рых концентрируется энергия входного сигнала. Однако чем точнее дифференцирование, тем меньше коэфф. передачи цепи и, следовательно, уровень выходного сигнала. Это противоречие устраняется в активных Д. ц., где процесс дифференцирования сочетается с процессом усиления. В активных Д. ц. используют *операционные усилители* (ОУ), охваченные отрицательной обратной связью (рис. 2). Входное напряжение $u_{вх}(t)$ дифференцируется цепочкой, образованной последоват. соединением ёмкости C и $R_{экв}$ — эквивалентного сопротивления схемы между зажимами 2—2′, а затем усиливается ОУ. Если подать напряжение на инвертирующий вход ОУ, то при условии, что его коэффициент усиления $k \gg 1$, $R_{экв} \to 0$, получим

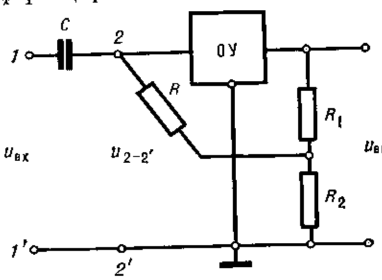

Рис. 2. Схема активной дифференцирующей цепи.

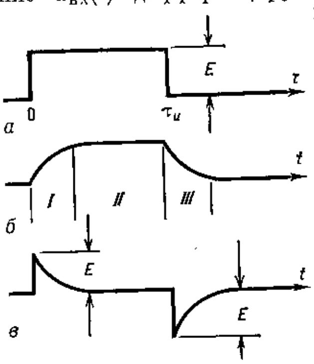

Рис. 3. Прохождение импульса через дифференцирующую цепь *RC*: *а* — входной импульс, $u_{вх} = E$ при $0 \leqslant t \leqslant \tau$; *б* — напряжение на ёмкости $u_C(t)$; *в* — выходное напряжение $u_{вых}(t) = u_{вх} - u_C$.

$$u_{2-2'} \approx CR_{экв} du_{вх}/dt = \tau_{экв} du_{вх}/dt, \quad а \ u_{вых} = k u_{2-2'}.$$

Для сравнит. оценки активных и пассивных Д. ц. при прочих равных условиях можно использовать отношение $\tau_{экв}/\tau_0$. При прохождении через Д. ц. импульсных сигналов происходит уменьшение их длительности, отсюда понятие о Д. ц. как об укорачивающих. Временны́е диаграммы, иллюстрирующие прохождение импульса прямоугольной формы через пассивную Д. ц., приведены на рис. 3. Предполагается, что $\tau_0 \ll \tau_и$, источник входного напряжения характеризуется нулевым внутр. сопротивлением, а Д. ц. — отсутствием паразитных ёмкостей. Наличие внутр. сопротивления приводит к уменьшению амплитуды напряжения на входных клеммах и, следовательно, к уменьшению амплитуд выходных импульсов; наличие паразитных ёмкостей — к затягиванию процессов нарастания и спада выходных импульсов. Аналогичным укорачивающим действием обладают также активные Д. ц.

Лит.: Гоноровский И. С., Радиотехнические цепи и сигналы, 4 изд., М., 1986. *М. А. Тронина.*

ДИФФУ́ЗИИ УРАВНЕ́НИЕ — дифференциальное уравнение с частными производными 2-го порядка, описывающее процесс *диффузии* в случае, когда перенос вещества вызван лишь градиентом его концентрации (в отличие от *термодиффузии* и т. п.). Д. у. чаще всего записывают в виде

$$du/dt = \operatorname{div}(D \operatorname{grad} u) - qu + F, \qquad (1)$$

где $u(\boldsymbol{x}, t)$ — концентрация вещества в точке $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3)$ среды в момент времени t, D — коэф. диффузии, q — коэф. поглощения, а F — интенсивность источников вещества. Величины D, q и F обычно являются ф-циями $\boldsymbol{x}$ и t, а также могут зависеть от концентрации $u(\boldsymbol{x}, t)$. В последнем случае ур-ние (1) становится нелинейным. В анизотропной среде коэфф. диффузии D является тензорным полем.

Наиб. полно исследовано линейное Д. у., когда коэф. диффузии D и поглощения q — пост. величины. В этом случае ур-ние (1) является ур-нием параболич. типа, для к-рого в матем. физике разработаны разл. методы решения: метод разделения переменных, метод источников или функций Грина (см. также *Винеровский функциональный интеграл*), метод интегр. преобразований и т. д. Для выделения единств. решения линейного ур-ния (1) необходимо также задать нач. и граничные условия (если диффундирующее вещество заполняет конечный объём V, огранич. боковой поверхностью S). Обычно рассматривают след. линейные граничные условия для Д. у.: 1) на границе S поддерживается заданное распределение вещества $u_0(\boldsymbol{x}, t)$: $u(\boldsymbol{x}, t)|_S = u_0(\boldsymbol{x}, t)$; 2) на S поддерживается заданная плотность потока вещества, входящего в V через S:

$$-D\, \partial u(\boldsymbol{x}, t)/\partial n\, |_S = u_1(\boldsymbol{x}, t),$$

где $\boldsymbol{n}$ — внутр. нормаль к поверхности S; 3) S полупроницаема, и диффузия во внеш. среду с заданной концентрацией $u_0(\boldsymbol{x}, t)$ через S происходит по линейному закону

$$k\, \partial u(\boldsymbol{x}, t)/\partial n + h\,[u(\boldsymbol{x}, t) - u_0(\boldsymbol{x}, t)]\,|_S = 0.$$

Простейшее Д. у.

$$\partial u(x, t)/\partial t = D \partial^2 u/\partial x^2; \quad t > 0, \qquad (2)$$

с нач. условием $u(x, 0) = \varphi(x)$, $-\infty < x < \infty$, имеет решение вида

$$u(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, x', t)\, \varphi(x')\, dx',$$

$$G(x, x', t) = (4\pi D t)^{-1/2} \exp[-(x - x')^2/4Dt] —$$

фундам. решение Д. у. (2).

Методы решения Д. у. с перем. коэф. диффузии менее развиты. В нек-рых частных случаях, напр. если D зависит только от концентрации u, можно аналитически найти точные решения Д. у. с перем. D.

Нелинейные матем. модели диффузии и теплопроводности (ур-ние и граничные условия) условно делят на след. классы: 1) от концентрации u зависят D или q (нелинейность 1-го рода); 2) нелинейность содержится в граничных условиях (нелинейность 2-го рода); 3) нелинейность возникает вследствие зависимости мощностей внутр. источников F от концентрации u