

БЕЛОГЛАЗОВ В. В., БИРЮК Н. Д.

СВОЙСТВА РЕЗОНАНСНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОНТУРАХ

Критически рассмотрена существующая теория резонанса параметрического контура. Предложен новый подход при рассмотрении этой теории. Принцип линейного включения позволяет связать параметрический контур с нелинейными контурами.

Четко разграничим два близкие по названию, но различные по содержанию понятия — «параметрический резонанс» и «резонанс параметрического контура». Как известно, свободный процесс обычного контура с положительными элементами затухающий, за одним исключением. Исключение относится к контуру без потерь, когда свободный процесс не является ни затухающим, ни возрастающим. Свободный процесс параметрического контура может быть затухающим, незатухающим и невозрастающим, а также возрастающим. Разграничить эти три случая — весьма сложная задача. Понятие «параметрический резонанс» относится к случаю, когда свободный процесс параметрического контура возрастающий. Этот эффект является свойством параметрического контура и не может быть реализован в обычном контуре.

Совершенно другое явление — резонанс параметрического контура. Оно представляет собой обобщение резонанса обычного контура. Этот эффект относится к вынужденным колебаниям, интенсивность которых при резонансе максимальна. Обычный контур откликается резонансом на гармоническую функцию вполне определенной частоты, при этом и вынужденные колебания являются гармоническими функциями с такой же частотой, амплитуды вынужденных колебаний при резонансе максимальны.

Точно так же и параметрический контур откликается резонансом на вполне определенную вынуждающую функцию времени. Она не является ни гармонической, ни даже периодической. Спектр ее имеет вид $\omega \pm k\Omega$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, где $\Omega = 2\pi / T$ — круговая частота изменения параметров контура (T — период), ω — некоторая константа с размерностью круговой частоты, ее вычисление — задача анализа. Такая функция относится к квазипериодическим функциям с базисом, равным двум (ее спектр является частным случаем ком-

бинационного спектра минимум двух частот, ω и Ω , т.е. $l\omega + m\Omega$, $m, l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$). Эти функции иногда в радиофизической литературе именуют функциями Хилла. При резонансе параметрический контур откликается вынужденными колебаниями с максимальной интенсивностью (понятие амплитуды к колебаниям такого типа неприменимо), они представляют собой функции Хилла с особой частотой ω .

Теория резонанса параметрического контура разрабатывалась учеными-радиофизиками советской школы нелинейных колебаний. Идеи акад. Л. И. Мандельштама [1] были развиты и конкретизированы Г. С. Гореликом [2] в разработанной им теории резонанса параметрического контура. Несколько позже акад. Н. Д. Папалекси [3] опубликовал обзор развития теории резонанса, в котором дал высокую оценку научному вкладу Г. С. Горелика. Затем по непонятным причинам работа в этом направлении прекратилась, хотя столь успешно начатая теория не была доведена до завершения. Предположительное объяснение такого неестественного положения можно найти в периодической литературе. Оказывается, что в то время (30-е годы 20-го века) во многих странах разрабатывалась система мировой связи. Предлагалось два основных варианта: супергетеродинный и сверхрегенеративный радиоприем. Выбор был сделан в пользу супергетеродинного радиоприема, при котором избирательность обеспечивалась обычными контурами или их системами. Вследствие этого, внимание научной общественности к параметрическому контуру было ослаблено. Ниже сосредоточено внимание лишь на главных, исходных принципах резонанса параметрического контура. Предлагаемая статья является развитием статьи Г. С. Горелика [2]. В настоящее время эта статья относится к библиографическим редким изданиям, поэтому мы вынуждены кратко изложить ее содержание со своими критическими комментариями.

Статья Г. С. Горелика посвящена анализу последовательного резонансного контура (рис. 1) с положительными элементами L, C, R и периодической емкостью $C(t) = C(t + \pi)$, без изменения общности период изменения емкости считается равным π . Исходная задача — найти резонансную э.д.с. $\varepsilon_p(t)$, а также вид резонансных вынужденных колебаний. Неявно предполагается, что R достаточно мало.

Уравнение контура относительно заряда конденсатора

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\delta \frac{dq}{dt} + \rho(t)q = \frac{\varepsilon(t)}{L} = f(t), \quad (1)$$

где $\delta = R / 2L = \text{const}$, $\rho(t) = 1 / LC(t) = \rho(t + \pi)$.

Для обнаружения резонансных свойств Г. С. Горелик предлагал представить уравнение (1) в виде