

НОВЫЕ ФУНКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА В СХЕМЕ

Э. А. Свирцева

Харьков

Долгое время в схемах встречалось только цепное включение трансформатора. Как проходной четырехполюсник он служил для преобразования токов, напряжений и сопротивлений, а также для разделения цепей по постоянному току. Теория проходного трансформатора в настоящее время разработана достаточно полно. Она выделяет наиболее существенные свойства его, опираясь на физику явлений, лежащих в основе его работы; устанавливает количественные соотношения между полезными и паразитными явлениями в трансформаторе; показывает, как связаны между собой электрические и конструктивные параметры трансформатора.

Исследование проходного трансформатора было начато в энергетике. Позже, при использовании его в цепях, предназначенных для передачи информации, его свойства были изучены в широком диапазоне частот. В результате, начиная с пятидесятых годов, теорию проходного трансформатора можно считать завершенной, а проектирование таких трансформаторов и схем с ними теперь является чисто инженерной задачей.

Однако сейчас становится все очевиднее, что в отмеченной роли применение трансформатора не ограничится.

Цепи, предназначенные для передачи и преобразования информации, становятся все сложнее в соответствии с возрастающей сложностью и многообразием выполняемых ими задач. Поэтому никогда не прекращаются поиски новых материалов, деталей, элементов радиоаппаратуры, которые бы позволили реализовать все новые функции цепей, причем по возможности экономичнее. Трансформатор — элемент не новый, однако возможности его далеко не исчерпаны. Об этом свидетельствуют уравнения и эквивалентная схема трансформатора как плавающего четырехполюсника [1].

Уже из упрощенной матрицы плавающего трансформатора, не учитывающего потерь в нем,

$$\| \bar{y} \| = \frac{1}{j\omega(L_1L_2 - M^2)} \begin{vmatrix} L_2, & -L_2, & \mp M, & \pm M \\ -L_2, & L_2, & \pm M, & \mp M \\ \mp M, & \pm M, & L_1, & -L_1 \\ \pm M, & \mp M, & -L_1, & L_1 \end{vmatrix}$$

видно, что в его эквивалентную схему входят отрицательные индуктивности. Значит, с добавлением трансформатора к пассивным элементам цепей (R , L , C) в синтезе раздвигаются границы реализуемых функций. В схеме замещения реального трансформатора можно помимо отрицательных индуктивностей обнаружить отрицательные сопротивления и проводимости. Правда, все эти отрицательные элементы невозможно отделить и использовать самостоятельно. И все же уже появились цепи, в которых используется эта особенность трансформатора.

Приведем примеры в подтверждение сказанного. На рис. 1, *в* показан двухполюсник с отрицательной индуктивностью. Такой двухполюсник может

оказаться ветвью эквивалентной схемы цепи, содержащей трансформатор (например, если к узлам ab некоторой схемы, в которой между этими узлами были подключены последовательно соединенные индуктивность L_{ab} и емкость C_{ab} , подключить узлы 14 трансформатора). Рядом показаны частотные характеристики этого двухполюсника. Известно, что такие частотные зависимости невозможно получить с помощью обычных реактивных элементов L

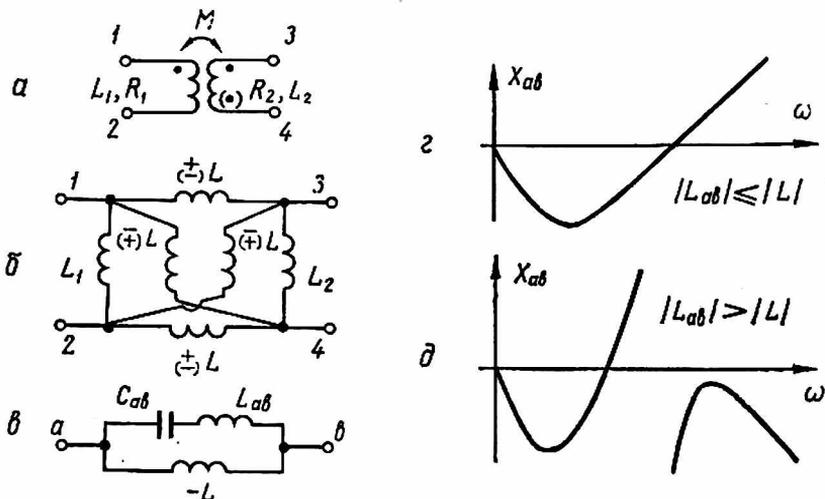


Рис. 1. Двухполюсник с трансформатором и его частотные характеристики.

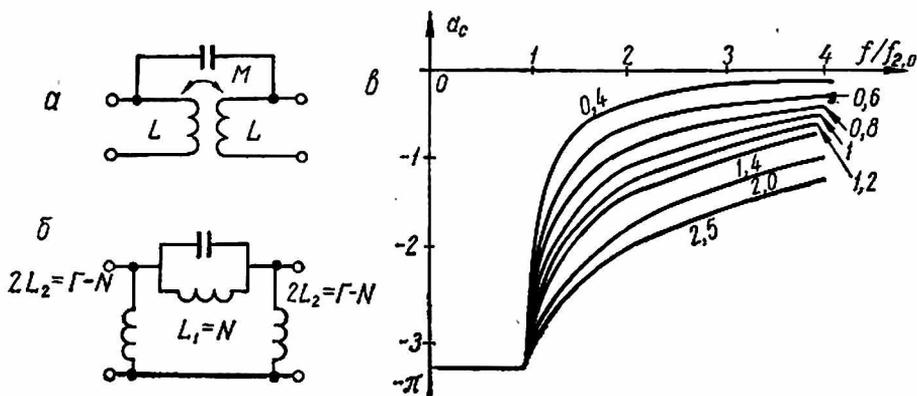


Рис. 2. Фильтр с трансформатором и его характеристики.

и C . Это следует из теоремы Фостера, ограничивающей реактансные функции только теми, для которых $\frac{dx}{d\omega} > 0$ ($X = \text{Re } z$), т. е. графики которых имеют при любой частоте положительный наклон к оси абсцисс.

Описанный двухполюсник нельзя отделить от схемы, однако наличие подобных двухполюсников в схеме влияет на свойства всей схемы в целом.

На рис. 2, a показана схема фильтра с трансформатором. Из эквивалентной схемы (рис. 3, b) видно, что это фильтр верхних частот типа M . Только в нем индуктивность L_1 может быть как положительной (при встречном включении обмоток), так и отрицательной (при согласованном включении обмоток). В результате появляется возможность менять коэффициент

$m = \frac{L_1}{L_2}$ в пределах $0 \leq m \leq \infty$, а не $0 \leq m \leq 1$, как в обычных фильтрах.

Это позволяет в больших пределах регулировать фазовую характеристику фильтра. При этом она оказывается наиболее линейной при отрицательной индуктивности в горизонтальном плече. Это свойство трансформаторного фильтра полезно особенно сейчас, когда все большее внимание уделяется проектированию трактов передачи информации с линейными фазовыми характеристиками, так как они обеспечивают наиболее эффективную передачу некоторых видов информации.

Часто применение трансформатора не является обязательным, так как заданную функцию можно осуществить и без него. Однако применение его дает существенную экономию затраченных материалов, веса и стоимости. Можно привести много примеров такого назначения трансформатора, но мы ограничимся примером фильтра, показанного на рис. 2, а. Если обмотки трансформатора включены встречно, то его эквивалентная схема не содержит отрицательных индуктивностей. Следовательно, такой фильтр можно построить и без трансформатора. Но тогда для него понадобится три сердечника вместо одного в трансформаторном фильтре.

В работе [2] встречаются схемы, в которых плавающий трансформатор применяется уже не в трехполюсном, а в четырехполюсном включении. Такие схемы получаются, если, например, в мостиковой схеме заменить трансформатором несколько индуктивностей. Во всех этих примерах трансформатор выступает как многополюсник (четыреполюсник или трехполюсник, если две обмотки имеют общую точку) с особыми свойствами, делающими его полезным материалом для синтеза. Пока по пути такого применения трансформатора сделаны лишь первые шаги. Ко многим схемам, в которых он выступает в своей новой роли, пришли случайно. На пути сознательного и направленного использования особых свойств трансформатора для технического осуществления новых функций еще много трудностей. Отметим наиболее существенные из них.

Во-первых, отсутствует теория плавающего трансформатора. Мы еще мало знаем о трансформаторе для того, чтобы судить о поведении его в схеме при произвольном включении. Ведь из теории цепей известно, что проходной четырехполюсник является частным случаем включения четырехполюсника.

Если в первом случае его поведение описывается двумя уравнениями (значит, тремя параметрами, когда четырехполюсник обратимый), то во втором случае четырехполюсник — тремя независимыми уравнениями (шестью параметрами). Это значит, что для построения теории трансформатора, годной для любого включения его в схему, требуются еще дополнительные исследования.

Во-вторых, методы синтеза из многополюсников только сейчас разрабатываются. Методов, приводящих непосредственно к реальному плавающему трансформатору, не существует. Однако некоторые из методов, появившиеся за последнее время, подсказывают, где можно использовать реальный плавающий трансформатор. Это методы, в которых для построения схемы пользуются идеальными проходными четырехполюсниками, например, методы Кауэра, Дарлингтона [3], [4]. Среди этих идеальных четырехполюсников — идеальный трансформатор и дуалатор, реализуемые с помощью реального трансформатора. В схемах, полученных по Кауэру и Дарлингтону, трансформаторы оказываются, как правило, плавающими. В этом случае для оценки свойств реальной схемы также понадобится обобщенная теория трансформатора.

Задача разработки обобщенной теории трансформатора стала уже актуальной, так как появляется все больше схем, в которых он применяется

по-новому, хотя к ним приходят пока на ощупь. Создание такой теории, а также дальнейшее совершенствование методов синтеза, несомненно, будут способствовать полному и целенаправленному использованию трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. А. Свирцева. Уравнения плавающего трансформатора. См. статью в настоящем сборнике.
2. Х. И. Черне. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах. Связьиздат, 1962.
3. Н. Балабанян. Синтез электрических цепей. Госэнергоиздат, 1961.
4. Д. А. Қалахан. Современный синтез цепей. Изд-во «Энергия», 1966.