

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Б. А. СОЛОМИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
высоких напряжений)

В настоящее время большое внимание в теории и технике радиосвязи уделяется электрическим системам, в которых под воздействием внешнего возбуждающего сигнала меняются определенным образом один или несколько реактивных параметров (индуктивности емкости). Такие системы могут быть выполнены как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами с использованием нелинейных элементов (ферритов, полупроводниковых диодов, сегнетоэлектриков, электронных пучков). Они используются для преобразования радиочастотных сигналов и известны как параметрические усилители, параметрические генераторы, параметрические умножители частоты. Теорию работы этих устройств можно найти, например, в [1, 2, 3, 4, 5].

Известные в настоящее время технические устройства, работающие на параметрических принципах в качестве преобразователей электрических сигналов, преобразовывают радио-

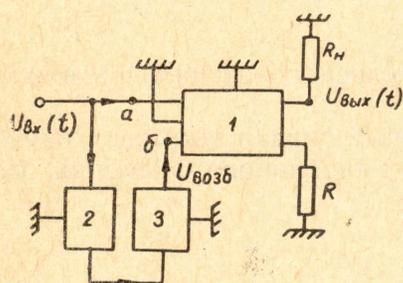


Рис. 1.

частотные ВЧ и СВЧ сигналы, требуют для эффективной работы выполнения определенных частотных соотношений между частотой управляемого и возбуждающего сигналов.

Значительный интерес для импульсной техники представляет создание нерезонансных параметрических преобразователей для преобразования энергии и частотного спектра импульсных сигналов. Теоретически возможность создания таких

устройств показана, например, в [6, 7, 8].

На рис. 1 показана блок-схема импульсного параметрического преобразователя. Он состоит из следующих основных элементов:

1 — параметрически связанная система из двух нелинейных искусственных линий;

2 — синхронизируемый генератор возбуждающих импульсов;

3 — блок задержки возбуждающего сигнала;

4 — сопротивление нагрузки R_n , на котором выделяется преобразованный импульсный сигнал $U_{вых}(t)$;

5 — согласующее сопротивление R , которое служит для устранения паразитных сигналов в преобразователе.

Входной импульсный сигнал $U_{вх}(t)$ подается одновременно на вход *a* параметрически связанных линий I и на запуск генератора возбуждающих импульсов 2.

С выхода генератора возбуждающие импульсы $U_{возб}$ с необходимым временным сдвигом, определяемым блоком задержки 3, подаются на вход *b* параметрически связанных линий I.

Управляемым параметром в преобразователе может быть как погонная емкость или погонная индуктивность линии, так и в наиболее общем случае скорость распространения v основного типа электромагнитной волны в линии, определяемая выражением

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где L и C — погонная индуктивность и погонная емкость линии соответственно. Далее для эффективной работы импульсного преобразователя необходимо, чтобы возбуждающий импульсный сигнал, распространяющийся по одной из двух параметрически связанных линий (линию назовем управляющей), двигался с большей скоростью $v_в$, чем импульсный сигнал, подлежащий преобразованию и распространяющийся по второй из двух параметрически связанных линий, которую мы назовем управляемой.

Возбуждающий импульсный сигнал для эффективной работы преобразователя должен иметь мощность, превосходящую мощность преобразовываемого импульсного сигнала, и плоскую вершину такой длительности, чтобы процессы можно было считать установившимися, пока преобразованный входной импульсный сигнал не выделится на нагрузке.

Далее для нормальной работы преобразователя необходимо, чтобы возбуждающий импульс подавался в управляющую линию только тогда, когда преобразовываемый импульсный сигнал уже полностью находится внутри управляемой линии, т. е. блок задержки возбуждающего сигнала должен обеспечивать время задержки T_3 больше или равное t_n :

$$T_3 \geq t_n,$$

где t_n — длительность преобразуемого импульсного сигнала на входе управляемой линии.

Допустим, что возбуждающий импульсный сигнал вызывает изменение скорости электромагнитной волны от начального значения v_0 , равного

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}},$$

до конечного значения v_k , равного

$$v_k = \frac{1}{\sqrt{L_k C_k}},$$

и пусть $v_k > v_0$.

Возбуждающий импульсный сигнал, проходя по управляющей линии передачи и догоняя преобразуемый сигнал, будет в этом случае ускорять его от v_0 до v_k . Электрическая длина преобразуемого импульса между началом и концом его также будет уменьшаться за счет того, что задние участки импульса будут двигаться с большей скоростью, чем передние участки, до тех пор, пока фронт параметра не пройдет весь путь преобразуемого сигнала.

Это приводит к тому, что преобразуемый сигнал сократится по длительности, причем, как показывает расчет [7], в случае слабых входных сигналов преобразование происходит линейно, т. е. без искажения формы импульса. Энергия преобразуемого импульсного сигнала пропорциональна напряжению и току сигнала в линии. При увеличении скорости движения преобразуемого сигнала в управляемой линии его напряжение и ток, а следовательно, и его энергия, будут увеличиваться.

Аналогично можно отметить, что если возбуждающий сигнал уменьшает скорость распространения сигнала в управляемой линии, то преобразуемый сигнал увеличивается по длительности, а его энергия соответственно уменьшается и передается в цепь управляющего сигнала.

Из вышеизложенного ясно, что при распространении входного импульсного сигнала в параметрически связанных линиях, т. е. в линиях, между которыми нет прямого электромагнитного взаимодействия, а есть взаимодействие через изменение одного из основных параметров линий — скорости распространения электромагнитной энергии в них, и при наличии соответствующего возбуждающего импульсного сигнала входной импульсный сигнал на выходе системы будет преобразован как по длительности, так и по энергии.

Преобразованный импульсный сигнал $U_{в.члх}(t)$ выделяется на нагрузке R_H , а возбуждающий импульсный сигнал во избежание отражений поглощается в сопротивлении R .

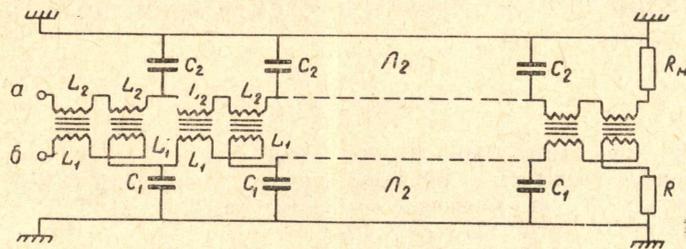


Рис. 2.

Принципиальная схема параметрически связанных линий 1 изображена на рис. 2. Они представляют собой две искусственные линии L_1 и L_2 . Каждая ячейка линии L_2 состоит из емкости C_1 и двух равных индуктивностей L_1 и L_2 . Эти индуктивности выполнены на двух ферритовых торах, каждый из которых имеет по две обмотки L_1 и L_2 , где L_2 одна из двух равных индуктивностей ячейки линии L_2 , так что L_1 и L_2 вместе образуют трансформатор с ферритовым сердечником. Ячейки линии L_2 также включают в себя емкости C_2 . Для устранения электромагнитного взаимодействия между L_1 и L_2 оба трансформатора в каждой из ячеек связанных линий включены в противофазе так, что сигналы, наводимые в каждую из связанных линий L_1 и L_2 из соседней линии, компенсируются, и электромагнитная связь между линиями существенно ослабляется.

Возбуждающий импульс, подаваемый на линию L_1 , должен двигаться с большей скоростью, чем входной импульс, подаваемый на линию L_2 , т. е. должно выполняться условие

$$\frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} > \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}.$$

Возбуждающий импульс, проходя через индуктивности L_1 , создает магнитное поле, которое изменяет магнитную проницаемость ферритовых

сердечников, а следовательно, индуктивность L_2 . Таким образом, в линии L_2 осуществляется бегущая волна параметра, которая вызывает преобразование входного импульсного сигнала.

Были проведены испытания параметрического преобразователя импульсных сигналов в качестве компрессора микросекундных импульсов. Работа преобразователя подтвердила возможность увеличения энергии и сокращения длительности входных импульсных сигналов.

Генератор возбуждающих импульсов (синхронизируемый блокинг-генератор) давал импульсы амплитудой 300 в и длительностью 7 мксек. На вход преобразователя подавались импульсные сигналы длительностью 10 мксек и амплитудой 25 в. На выходе преобразователя входные импульсные сигналы преобразовывались в импульсы длительностью 1,4 мксек и амплитудой 150 в.

На рис. 3 представлены осциллограммы входного и выходного импульсных сигналов*.

Таким образом, практически доказана возможность построения широкополосных параметрических преобразователей импульсных сигналов. Преобразователи, основанные на вышеизложенных принципах, могут быть использованы как усилители или генераторы импульсных сигналов для сокращения импульсных сигналов по длительности в схемах временных компрессоров и для других целей.

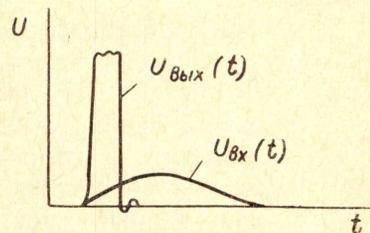


Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Tien, H. Suhe, Proc. IRE, 46, 700, 1958.
2. Л. И. Мандельштам. Собрание трудов, 2, изд. АН СССР, 1947.
3. С. М. Рытов. Труды Физического института, 2, I, 1940.
4. С. М. Рытов. ЖТФ, 17, 930, 1947.
5. А. А. Андронов. Собрание трудов, изв. АН СССР, 19, 1946.
6. С. И. Аверков, Л. А. Островский. Известия вузов, Радиофизика, 1, 4, 46, 1958.
7. С. И. Аверков, Н. С. Степанов, Известия вузов, Радиофизика, т. II, № 2, 1959.
8. Л. А. Островский. Известия вузов, Радиофизика, т. VI, вып. 4, 1963.
9. M. Otuka. Тезисы доклада на 13-ом симпозиуме URSI. 1965, Голландия.

* Аналогичные результаты независимо были получены в работе [9].