

УДК 621.326

А. А. Дрючин, к. т. н., доц.; М. Д. Гузь

УПРАВЛЯЕМЫЕ РЕАКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ

Для согласования выходных каскадов радиопередатчиков и электроприводов предложено использование управляемой реактивности, содержащей два транзистора противоположного типа проводимости, между входными и управляющими электродами которых включено по резистору и к управляющим и общим электродам подключено по конденсатору. Введён третий и четвертый транзисторы противоположного типа проводимости, четыре диода и два дросселя.

Ключевые слова: управляемые реактивности, выходные каскады, управление мощностью, согласование оконечных каскадов.

Переход к электронным методам управления силовыми устройствами, такими как: электропривод, радиопередающие устройства, позволил резко увеличить коэффициент полезного действия таких систем, но поставил актуальное задание обеспечения оптимальных условий передачи мощности к нагрузке, т. е. согласования выходных каскадов усилителей мощности и исполнительных элементов. Такое согласование обеспечивается в случае компенсации реактивных составляющих в выходных цепях. Для реализации данной задачи целесообразным будет применение управляемой индуктивности и ёмкости.

В то же время использование традиционных решений, которые применяют варикапы или реактивные транзисторы ограничивается технологическими возможностями применения варикапов на большие реактивные мощности.

Использование внешнего источника питания является существенным недостатком, ограничивающим область применения управляемых реактивностей на базе реактивных транзисторов [1, 2, 3].

Установка нужного режима постоянного тока транзисторов управляемой реактивности требует использования дополнительных элементов питания, блокировки и фильтрации, что уменьшает надежность устройства. Использование дополнительных источников питания также снижает энергетическую эффективность устройства в целом и ограничивает область использования таких устройств только маломощными узлами электронных средств: частотные модуляторы, устройства автоподстройки частоты и т. д. В средствах силовой электроники мощность источника питания управляемой реактивности должна значительно превышать мощность ее нагрузки, что является энергетически неэффективным.

Для отказа от внешнего источника предлагается управляемая реактивность мостового типа, схема которой приведена на рис. 1.

Управляемая реактивность содержит два транзистора противоположного типа проводимости VT1 и VT2, между входными и управляющими электродами которых включены резисторы R1 и R2 и к управляющим и общим электродам подключено по конденсатору C1 и C2, третий и четвертый транзисторы противоположного типа проводимости VT3 и VT4, четыре диода VD1, VD2, VD3 и VD4 и два дросселя L1 и L2. При использовании управляемой реактивности на биполярных транзисторах выходным электродом является коллектор, управляющим – база, общим – эмиттер. При выполнении на полевых транзисторах выходным электродом является сток, управляющим – затвор, общим – исток.

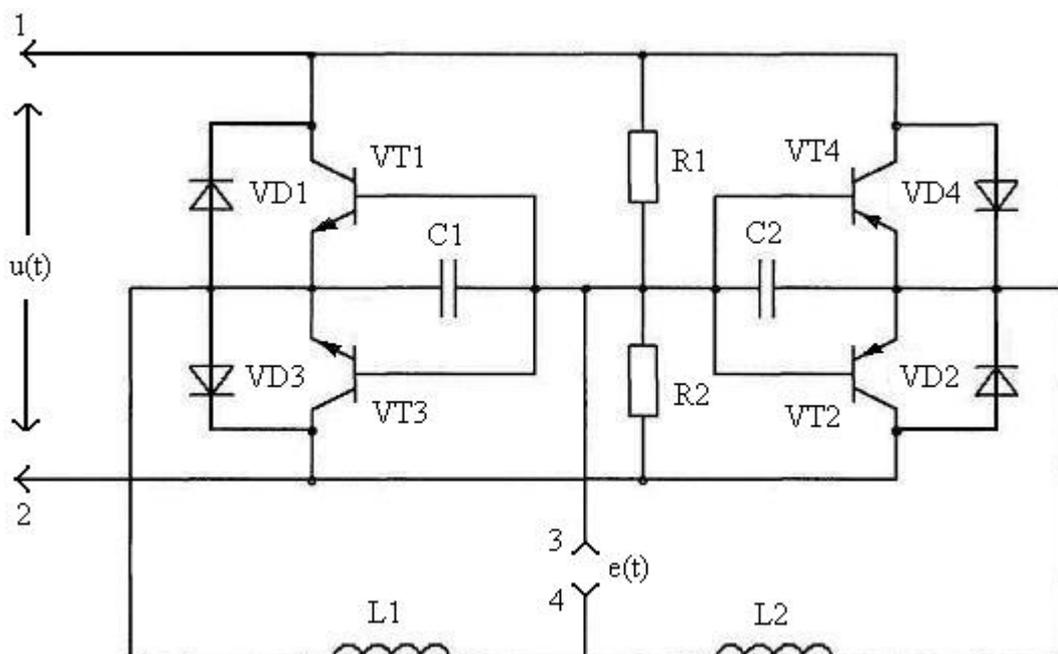


Рис. 1. Электрическая схема управляемой реактивности

К выходам устройства 1 и 2 прикладывается высокочастотное гармоническое напряжение, которое может быть подано, например, от автогенератора:

$$u(t) = U_m \cdot \cos \omega t, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда высокочастотного гармонического напряжения; ω – угловая частота высокочастотного гармонического напряжения.

В управляемой реактивности обеспечивается непрерывность тока между выходами 1 и 2 при питании от источника сигнала и напряжения модуляции:

$$e(t) = E_m \cdot \cos \Omega t, \quad (2)$$

где E_m – амплитуда напряжения модуляции; Ω – угловая частота напряжения модуляции.

Напряжение модуляции обеспечивает смещение потенциала баз транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4 при любой полярности этих напряжений. Возможные состояния транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4 и диодов VD1, VD2, VD3 и VD4 в зависимости от полярности входных напряжений приведены в таблице 1 (“1” соответствует открытому состоянию элемента, “0” – закрытому состоянию; “+” соответствует положительной полярности напряжений, “-” – отрицательной полярности).

Таблица 1

Состояние транзисторов и диодов при различных значениях напряжений

N	$u_{1,2}$	$e_{3,4}$	VT1	VT2	VT3	VT4	VD1	VD3	VD4	VD2
1	+	+	1	0	0	0	0	1	0	0
2	-	+	0	0	1	0	1	0	0	0
3	+	-	0	1	0	0	0	0	1	0
4	-	-	0	0	0	1	0	0	0	1

Напряжение $u(t)$ приложено к выходным электродам транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4.

Номиналы резисторов R1 и R2 выбраны так, что сопротивление R каждого из них будет больше реактивного сопротивления X конденсаторов C1 и C2 с емкостью C:

$$R > X = \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (3)$$

В этом случае ток через делитель RC для каждого транзистора VT1, VT2, VT3 и VT4 имеет одинаковую начальную фазу с напряжением $u(t)$, приложенным между выводами устройства 1 и 2. За счет реактивного сопротивления конденсаторов C1 и C2 напряжение на них будет отставать на угол, близкий к 90° :

$$U_C(t) = k \cdot U_m \cdot \sin \omega t, \quad (4)$$

где k – коэффициент передачи делителя RC на частоте ω .

Коэффициент передачи делителя RC на частоте ω определяют следующей формулой:

$$k = \frac{X}{\sqrt{X^2 + R^2}}. \quad (5)$$

За счет смещения напряжения $U_C(t)$, которое подается на входные электроды всех транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4, токи выходных электродов каждого транзистора VT1, VT2, VT3 и VT4 в открытом состоянии также будут сдвинуты на 90° относительно напряжения, приложенного к выходным электродам:

$$i_{\text{вых}}(t) = S \cdot U_C(t) = S \cdot k \cdot U_m \cdot \sin \omega t, \quad (6)$$

где S – крутизна передаточной характеристики управляемой реактивности, которую можно считать действительным числом при работе транзисторов на частотах ниже граничной.

Таким образом, ток $i_{\text{вых}}(t)$ между выходами устройства 1 и 2 будет опаздывать на 90° относительно напряжения, приложенного к тем же выходам. То есть, при таком схемном решении и принятых соотношениях параметров устройство эквивалентно индуктивности L_e . В активном режиме:

$$L_e = \frac{U_m}{I_m \cdot \omega} = \frac{U_m}{S \cdot k \cdot U_m \cdot \omega} = \frac{1}{S \cdot k \cdot \omega}. \quad (7)$$

Изменение значения индуктивности L_e осуществляют подачей напряжения модуляции на входы 3 и 4, которая изменяет смещение на управляющих электродах всех транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4. Дроссели L1 и L2 используют для исключения влияния высокочастотного входного напряжения на входы 3 и 4. За счет того, что транзисторы VT1 и VT2, VT3 и VT4 имеют противоположную проводимость, активные режимы каждого из них будут соответствовать противоположным полупериодам напряжения модуляции

согласно таблице 1.

При симметрии в плечах и идентичности параметров всех транзисторов VT1, VT2, VT3 и VT4, в нагрузке, которая присоединяется к выходам 1 и 2 устройства, компенсируется постоянная составляющая токов выходных электродов и чётные гармоники частот модуляции, что позволяет уменьшить смещение центральной частоты автогенератора и увеличить стабильность частоты. Уменьшение уровня чётных гармоник частот модуляции ведет к уменьшению нелинейных искажений в передаваемом сигнале и соответственно в получаемом после демодуляции сигнале. Это позволяет проводить угловую модуляцию на высоких уровнях мощности радиопередатчиков и обеспечивать синхронизацию исполнительных элементов в системах электропривода.

Введение второй пары транзисторов VT3 и VT4 и четырех диодов VD1, VD2, VD3 и VD4 позволяет обеспечить питание транзисторов от источников высокочастотных сигналов и сигналов модуляции. Это исключает необходимость использования внешних дополнительных источников питания для данного устройства, то есть оно является энергетически и экономически эффективным.

В радиопередающих устройствах такие реактивности обеспечивают согласование выходного каскада с антенной, а в системах электропривода – оптимизируют режимы работы преобразователя и двигателя. К тому же, в случае аварийных режимов такое устройство может выполнять функцию защиты нагрузки и выходного каскада при подаче соответствующего сигнала по входу модуляции.

Таким образом, предложенная реактивность может быть применена как в высокочастотном, так и в промышленном диапазонах для управления большими мощностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 67790 Україна, МПК^(2012.01) Н 03 Н 11/00 / Керована індуктивність / П. О. Гаврасієнко, О. О. Дрючин, А. П. Тульчій.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 201108327; заявл. 04.07.11 ; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.
2. Радиопередающие устройства / [Шахгильдян В. В., Козырев В. Б., Ляховкин А. А., Нуянзин В. П., Розов В. М., Шумилин М. С.] ; – [2 изд.]. – М.: Радио и связь, 1990. – 432 с.
3. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов: Г 34 учеб. пособие / [В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов, В. М. Богачев и др.] ; под ред. В. Н. Кулешова и Н. Н. Удалова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.

Дрючин Александр Алексеевич – доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения.

Гузь Максим Дмитриевич – студент группы ТКТ-106.

Винницкий национальный технический университет.