

ЧЕТЫРЕХСТАБИЛЬНЫЙ ДВУХЧАСТОТНЫЙ ПАРАМЕТРОН

Р. А. ВАЙНШТЕЙН, А. В. ШМОЙЛОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций
и электрических сетей и систем)

Для производства логических операций в счетной технике, связи, телемеханике и т. д. широко используются двухстабильные элементы благодаря их большой надежности и простоте конструкции. Применение двухстабильных элементов для осуществления сложных или массовых логических операций требует схем с большим количеством этих элементов. Использование для этой цели многостабильных устройств позволяет сократить число элементов, причем надежность и простота многостабильных элементов не должны уступать подобным качествам двухстабильных элементов. В накопительных элементах [6, 7] увеличение числа состояний равновесия не приводит к усложнению схемы. Однако область их применения весьма ограничена, так как состояния равновесия не являются устойчивыми. С другой стороны, создание устойчивого многостабильного элемента приводит к усложнению его конструкции.

В настоящее время большое внимание уделяется многостабильным параметронам, например [4, 5]. В них устойчивые состояния характеризуются различными фазами колебаний. Определенной фазе колебаний частоты накачки соответствует n возможных устойчивых фаз n -ой субгармоники, сдвинутых друг относительно друга на $\frac{2\pi}{n}$. Однако при высоком значении n возбуждение колебаний встречает значительные трудности, поэтому практически используется возбуждение колебаний только на второй субгармонике.

В этой статье описывается устройство, которое названо четырехстабильным двухчастотным параметроном. Этот параметрон имеет 4 устойчивых состояния, характеризующиеся не различными фазами колебаний субгармоник, а двумя противоположными фазами колебаний первого параметрического резонанса (колебания на половинной частоте модуляции параметра) и двумя противоположными фазами колебаний второго параметрического резонанса (колебания на частоте модуляции параметра). Возбуждения колебаний как первого, так и второго параметрических резонансов производится за счет изменения величины фактора, модулирующего параметр. Надежность и простота данного устройства не уступают надежности и простоте двухстабильного параметрона, нашедшего широкое применение в технике. Схема рассматриваемого устройства изображена на рис. 1.

Оно состоит из двух одинаковых ферромагнитных сердечников, на которые намотаны по две обмотки: W_n — обмотки накачки и W_k — контурные обмотки. Обмотки W_n соединяются встречно-последовательно. По ним пропускается переменный ток i_n . Обмотки W_k соединяются последовательно и вместе с конденсатором C , включенным на их зажимы, образуют колебательный контур. Благодаря такому соединению

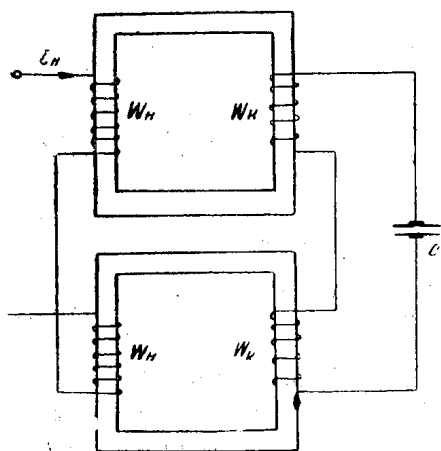


Рис. 1

обмоток при пропускании тока по обмоткам W_n э.д.с. трансформации в колебательном контуре равна 0. Воздействие тока в обмотках W_n на колебательный контур заключается в том, что данный ток насыщает сердечники, и тем самым происходит периодическая модуляция индуктивности колебательного контура. При изменении амплитуды тока в обмотках W_n (в определенном диапазоне) в колебательном контуре возникают феррорезонансные колебания [1].

Электромагнитные процессы в колебательном контуре, образованном периодически изменяющейся индуктивностью $L(t)$ обмоток W_k , конденсатором C , активным сопротивлением проводов

W_k и потерь в ферромагнитном материале, удовлетворительно описываются нелинейным уравнением Матье. Неустойчивое решение этого уравнения на первой субгармонической частоте модуляции индуктивности описывает явление первого параметрического резонанса [2]. Известно [2], что в параметрической системе с нелинейным элементом можно получать колебания на частоте модуляции параметра (второй параметрический резонанс) и колебания более высоких порядков.

Однако для получения колебаний нужного порядка необходимо каждый раз настраивать систему (создавать соответствующие резонансные условия и вводить необходимую нелинейность).

Система рис. 1 в этом отношении имеет благоприятные преимущества. Модуляция индуктивности осуществляется с помощью намагничивания ферромагнитных сердечников, имеющих нелинейную зависимость магнитной проницаемости от намагничивающего тока i_n . Кривая изменения индуктивности во время $L(t)$ (рис. 2) содержит бесконечный ряд гармоник с частотами, кратными частоте модуляции индуктивности. В зависимости от величины тока намагничивания в кривой $L(t)$ будет преобладать первая или вторая гармоническая составляющая. В соответствии с этим в системе рис. 1 будет создано первое необходимое условие для возбуждения соответственно первого или второго параметрического резонанса. Вторым необходимым условием является создание соответствующих резонансных условий в колебательном контуре, как следует из выражений

$$\omega L_{cp} = \frac{1}{\omega C}, \quad (1)$$

$$2\omega L_{cp} = \frac{1}{2\omega C}, \quad (2)$$

где 2ω — частота первой гармонической модуляции индуктивности;

$L_{\text{ср}}$ — средняя индуктивность за период намагничивания при первом параметрическом резонансе;

$L'_{\text{ср}}$ — средняя индуктивность на период намагничивания при втором параметрическом резонансе;

C — емкость колебательного контура.

Из (1) и (2) получаем

$$L_{\text{ср}} = \frac{1}{4} L'_{\text{ср}}. \quad (3)$$

Первое и второе условия для получения колебаний первого и второго параметрических резонансов вполне совместимы в системе рис. 1 при соответствующем выборе ее параметров. Если параметры выбраны так, что явление первого параметрического резонанса наступает при небольшом насыщении сердечников, когда кривая $L(t)$ мало искажена (то есть в ней преобладает первая гармоническая составляющая) и средняя составляющая $L_{\text{ср}}$ удовлетворяет выражению (1), то при дальнейшем увеличении тока намагничивания кривая $L(t)$ начинает искажаться в направлении уменьшения средней составляющей согласно динамической кривой индуктивности $L(i)$ и роста четных гармонических составляющих, как показано на рис. 2. При искажении $L(t)$ до степени, когда в кривой оказывается сформированной соответствующая вторая гармоническая составляющая и средняя составляющая достигает величины $L'_{\text{ср}}$, в колебательном контуре возникают колебания второго параметрического резонанса, то есть колебания на частоте модуляции параметра.

Таким образом, при соответствующем выборе параметров в системе рис. 1 представляется возможным получить колебания первого и второго параметрических резонансов, пропуская по обмотке W_n соответствующий ток намагничивания.

Известно [3], что фазой колебаний параметрона, который работает в режиме первого параметрического резонанса, можно управлять, подавая в колебательный контур небольшой сигнал, предопределяющий фазу параметрических колебаний.

Так как явление второго параметрического резонанса физически не отличается от явления первого параметрического резонанса, фазой колебаний второго резонанса также можно управлять, подавая соответствующий сигнал в колебательный контур.

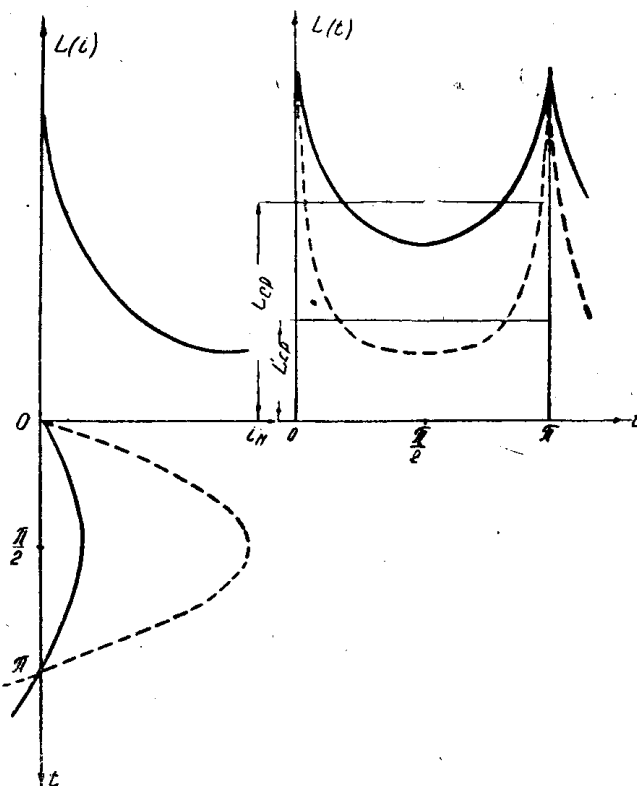


Рис. 2

Так как в системе рис. 1 можно получить колебания и первого и второго параметрических резонансов в зависимости от тока i_n , то имеется возможность управлять фазой колебаний обоих резонансов, подавая в колебательный контур одновременно два запоминаемых сигнала: на половинной частоте и на частоте модуляции индуктивности. Однако в данном случае возникает затруднение: не будут ли взаимно влиять одновременно подаваемые в контур сигналы на управление фазами колебаний параметрических резонансов?

Для того, чтобы ответить на данный вопрос, произведем качественный анализ этого влияния. Пусть в колебательный контур поданы 2 сигнала

$$i_c = i_{c1} = i_{c2},$$

где $i_{c1} = I_{m1} \sin \omega t$ — запоминаемый сигнал;

$i_{c2} = I_{m2} \sin(2\omega t + \varphi)$ — побочный сигнал, который может повлиять на фазу запоминаемого сигнала;

ω — половинная частота модуляции индуктивности;

φ — начальная фаза.

Побочный сигнал представим состоящим из двух ортогональных составляющих

$$i_{c2} = I_{s2} \sin 2\omega t + I_{c02} \cos 2\omega t,$$

где

$$I_{s2} = I_{m2} \cos \varphi, \quad I_{c02} = I_{m2} \sin \varphi.$$

Для запоминаемого сигнала должны быть соблюдены условия параметрического вноса энергии в колебательный контур. То есть должны быть соблюдены резонансные условия в колебательном контуре на частоте ω и, если представить изменение индуктивности по прямоугольному закону [3], то уменьшение индуктивности должно совпадать с прохождением тока i_{c1} через максимум. На рис. 3 изображено изменение индуктив-

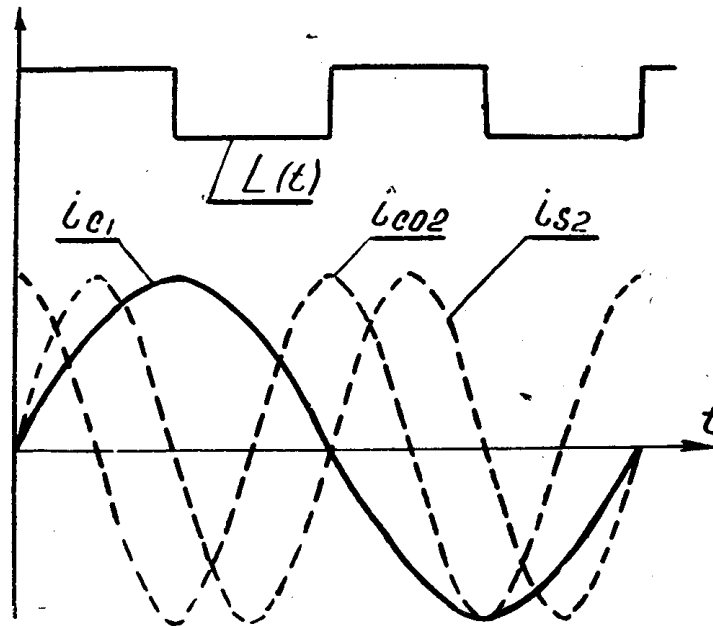


Рис. 3

ности и токов сигналов. Из рассмотрения кривых заключаем: параметрический внос энергии для составляющей i_s происходит при прохождении ее через 0. Следовательно, эта составляющая на захват фазы i_{c1} не влияет. Для составляющей i_{c02} внос и вынос энергии совпадает

с максимальным значением i_{c02} . Суммарный внос энергии за период равен 0 и поэтому i_{c02} также на захват фазы i_{c1} не влияет.

Таким образом, сигнал с частотой 2ω при любой начальной фазе φ не может предопределить неправильное запоминание фазы сигнала с частотой ω .

Положим теперь запоминаемый сигнал изменяющимся по закону

$$i_{c2} = I_{m2} \sin 2\omega t,$$

а побочный сигнал — по закону

$$i_{c1} = I_{m1} \sin (\omega t + \varphi_1).$$

Преобразуем

$$i_{c1} = I_{s1} \sin \omega t + I_{c01} \cos \omega t,$$

где

$$I_{s1} = I_{m1} \cos \varphi_1,$$

$$I_{c01} = I_{m1} \sin \varphi_1,$$

φ_1 — начальная фаза.

В данном случае должны быть соблюдены условия параметрического вноса энергии для сигнала с частотой 2ω . Для рассмотрения заменим вторую гармоническую составляющую индуктивности $L(t)$ периодической кривой, изменяющейся по прямоугольному закону. На рис. 4 изображены индуктивность и сигналы во времени. Из рассмотрения рис. 4

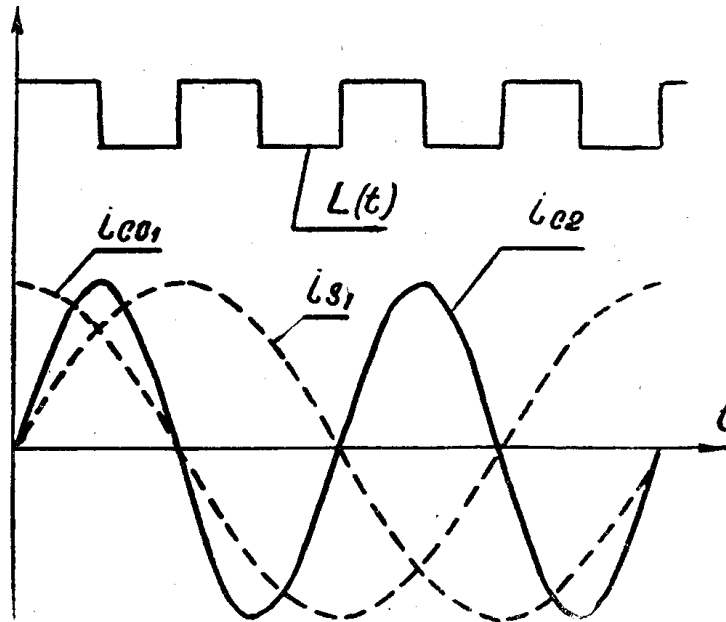


Рис. 4

отмечаем: внос энергии для побочных составляющих сигнала i_{s1} и i_{c01} несколько превалирует над выносом (внос осуществляется дважды за полпериода частоты ω при мгновенных значениях сигналов, равных $\frac{\sqrt{2}}{2}$

от максимальных значений соответствующих сигналов, а вынос один раз за полпериода при максимальных значениях сигналов). Однако, учитывая затухание контура, резонансную настройку колебательного контура на частоту 2ω и соизмеримость сигналов частоты ω и 2ω , можно утверждать, что неправильного запоминания фазы сигнала частоты 2ω за счет сигнала i_{1c} не произойдет.

Таким образом, взаимное влияние сигналов при любых фазах между ними не приводит к неправильному запоминанию фазы колеба-

ний как первого, так и второго параметрических резонансов. То есть при одновременной подаче запоминаемых сигналов в колебательный контур сигнал на половинной частоте модуляции индуктивности управляет колебаниями первого параметрического резонанса, а сигнал на частоте модуляции индуктивности управляет колебаниями второго параметрического резонанса. Следовательно, система рис. 1 позволяет осуществить четырехстабильный двухчастотный параметрон, в котором производится запоминание двух отличающихся на 180° фаз колебаний первого параметрического резонанса и двух отличающихся на 180° фаз колебаний второго параметрического резонанса с помощью подачи в колебательный контур двух небольших сигналов, несущих необходимую информацию.

На кафедре электрических станций Томского политехнического института произведены испытания устройств по схеме рис. 1. Испытания проведены для устройств, сердечники которых выполнены из электротехнической стали, на частоте тока в цепи обмоток W_n 50 гц.

Все испытанные образцы позволили подобрать необходимую оптимальную емкость, чтобы получить напряжения на емкости при первом и втором параметрическом резонансе одинаковой амплитуды.

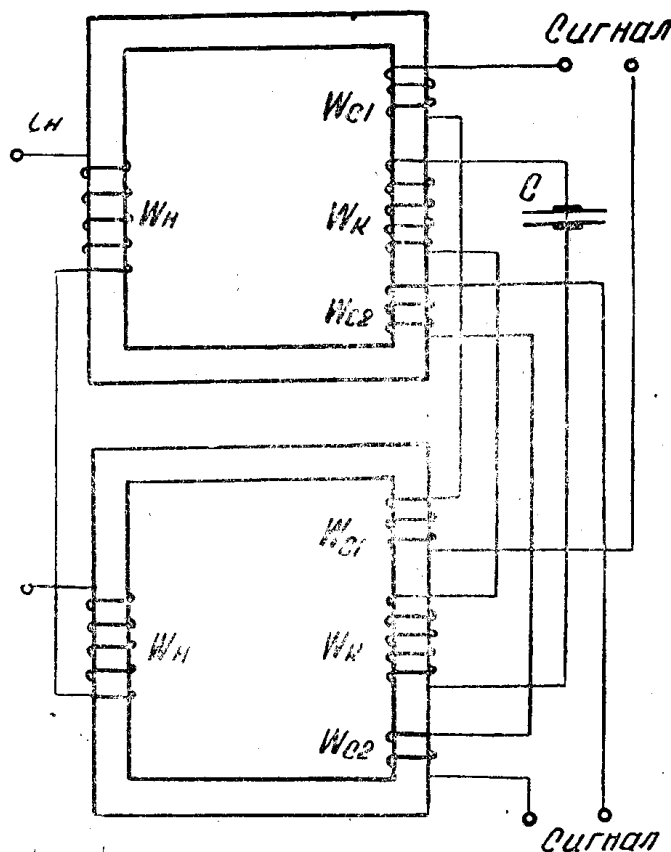


Рис. 5

Отклонение емкости в меньшую сторону от оптимальной приводит к уменьшению амплитуды и мощности колебаний первого резонанса. Увеличение емкости по сравнению с оптимальной приводит к: 1) увеличению потребляемой мощности цепи обмоток W_n , 2) увеличению амплитуды и мощности колебаний первого резонанса, 3) уменьшению амплитуды и мощности колебаний второго резонанса.

Произведены также эксперименты по управлению фазой колебаний первого и второго резонансов. Для этого были намотаны дополнительные сигнальные обмотки W_{c1} и W_{c2} (рис. 5). Выводы обмоток W_{c1} присоединены к источнику регулируемого тока частоты 50 гц. По обмоткам W_{c1} пропускается небольшой сигнал частоты 50 гц, фаза которого может изменяться. По обмоткам W_{c2} также пропускается небольшой сигнал частоты 100 гц, фаза которого может меняться.

Фаза колебаний в контуре испытываемого параметрона контролируется с помощью электронного осциллографа, синхронизированного напряжением частоты сети 50 гц.

Результаты опыта

1. Фаза колебаний первого параметрического резонанса управляется как при подаче в обмотки W_{c1} сигнала 50 гц с необходимой фазой, так и при одновременной подаче в обмотки W_{c1} сигнала 50 гц с нужной фазой, а в обмотки W_{c2} сигнала 100 гц с различными фазами.

2. Управление фазой колебаний второго параметрического резонанса осуществляется как при подаче в обмотки W_{c2} сигнала 100 гц с необходимой фазой, так и при одновременной подаче в обмотки W_{c2} сигнала 100 гц с той же фазой, а в обмотки W_{c1} сигнала 50 гц с различными фазами. Сигналы, необходимые для управления фазой колебаний как первого, так и второго резонансов, незначительны по сравнению с величинами возбуждаемых колебаний.

Соотношение сигнала 50 гц и амплитуды колебаний первого резонанса, измеренное на зажимах конденсатора C , лежит в пределах $\frac{1}{35} \div \frac{1}{45}$ в зависимости от величины небаланса в колебательном контуре. Чем идентичнее выполнены сердечники, тем меньше это соотношение.

Соотношение сигнала 100 гц и амплитуды колебаний второго резонанса, измеренное на зажимах конденсатора C , в экспериментах равнялось около $\frac{1}{50}$, причем небаланс в колебательном контуре в данном случае практически не сказывается на изменение вышеназванного соотношения.

Выводы

Периодические колебания в системе рис. 1 при изменении амплитуды переменного тока в обмотках W_n рассматриваются с помощью теории параметрических систем.

В соответствии с данной теорией явление периодических колебаний в данной системе на половинной частоте модуляции индуктивности объясняется как явление первого параметрического резонанса, а явление колебаний на частоте модуляции индуктивности — как явление второго параметрического резонанса.

На основании данных выводов показывается возможность управления фазой колебаний первого параметрического резонанса в системе рис. 1. Впервые показана возможность управления фазой колебаний второго параметрического резонанса.

На основании теоретических выводов и экспериментов предлагается использовать систему рис. 1 как параметрическую систему для получения первого и второго параметрических резонансов без изменения емкости колебательного контура. Показана и опытами подтверждена возможность независимого управления фазами колебаний первого и вто-

рого параметрических резонансов при одновременной подаче в колебательный контур двух запоминаемых сигналов.

В результате всего вышесказанного предлагается использовать систему рис. 1 как четырехстабильный двухчастотный параметрон, запоминающий 4 сигнала: 2 на явлении запоминания фаз колебаний первого параметрического резонанса, отличающихся на 180° и 2 на явлении запоминания фаз колебаний второго параметрического резонанса, отличающихся на 180° .

Использование четырехстабильного двухчастотного параметрона в логических схемах счетной техники, связи, телемеханики и т. д. позволит сократить число логических элементов.

Надежность и простота рассмотренного устройства не хуже надежности и простоты двухстабильных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Бессонов. Нелинейные электрические цепи. «Высшая школа», 1964.
2. И. Д. Папалекси. Собрание трудов. Изд-во АН СССР, 1948.
3. Параметроны. Сборник статей. Перевод с японского и английского, ИЛ., 1962.
4. Р. Л. Уидкингтон. Новый принцип в вычислительной технике. Кибернетический сборник, вып. 2, 1961.
5. С. А. Ахманов, А. С. Рошаль. Изв. вузов. «Радиотехника», № 2, 1961.
6. Фримен. «Электротехника», № 24, 1962.
7. Р. А. Липман. «А и Т», № 10, 1963.