

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИИ ПАРАМЕТРОНОВ НА ВТОРОЙ ГАРМОНИКЕ

Б. М. Булгаков, В. П. Степанов, П. И. Чередников

Харьков

Высокие требования к точности измерения электрических величин послужили толчком к развитию приборов и устройств, использующих методы преобразования напряжения в код и кода в напряжение [1, 2]. Для повышения надежности этих преобразований широко используются облегченные режимы элементов и узлов (резервирование), принимаются специальные меры для снижения числа отказов и уменьшения систематической погрешности за счет дрейфа нулевого уровня.

Применение параметрических усилителей преобразователей позволяет значительно упростить проблему надежности, долговечности и стабильности. Нелинейные параметрические цепи, как показали многочисленные исследования, обладают большими возможностями. Особый интерес представляют магнитные параметрические системы для создания на их базе высоконадежных, и долговечных усилительных, преобразовательных и других элементов электронных устройств, способных стабильно работать в сложных температурных или радиационных условиях. Надежность устройств с применением параметронов на ферритовых сердечниках очень высока и определяется в основном надежностью паяных соединений, конденсаторов и сопротивлений, поэтому такие схемы можно устанавливать в труднодоступных местах, где невозможно проводить профилактические работы.

Существующие параметроны уже применяются в различных устройствах автоматики, измерительной и вычислительной техники. Однако из-за их низкого быстродействия во многих случаях предпочитают менее надежные элементы, но с меньшей инерционностью. Можно показать, что в параметронах, работающих на второй гармонике, в несколько раз сокращается время установления колебаний, вследствие чего повышается их быстродействие. Кроме этого, параметроны на второй гармонике обладают целым

рядом других интересных особенностей, позволяющих применить их в самых разнообразных радиоэлектронных системах (нуль-индикаторах, цифровых вольтметрах, усилителях постоянного тока и т. д.).

Параметроны, работающие на второй гармонике, выполняются из двух одинаковых сердечников (пермалоя, феррита или магнитной пленки). Каждый сердечник имеет по три соответствующим образом включенных обмотки: возбуждения — W_1 , управления W_0 и измерительной обмотки W_2 . Обмотки возбуждения,

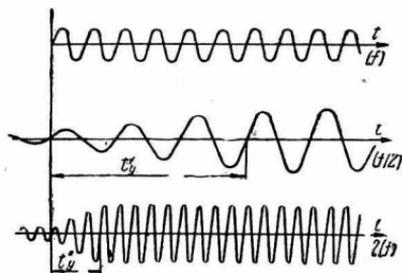


Рис. 1.

питаемые переменным током с частотой ω , осуществляют параметрическую модуляцию индуктивности измерительного контура, в котором при достаточно малом активном сопротивлении R возбуждаются параметрические колебания с частотой 2ω , на которую настроен резонансный контур соответствующим выбором емкости C . Подобные устройства, выпол-

ненные на тонких пленках, могут найти широкое применение в современных машинах, устойчивых к большим температурным колебаниям и радиационным воздействиям с быстродействием, превышающим в несколько раз быстродействие существующих параметронов на субгармонике [3]

Колебания в резонансном контуре без учета потерь приближенно выражаются дифференциальным уравнением [4]

$$\ddot{v} + \frac{\dot{v}}{CL}(t) = 0,$$

где точки указывают дифференцирование по времени.

Характер колебаний, генерируемых в контуре параметрона, показан на рис. 1. Колебания в параметроне в установившемся состоянии могут быть с 0-фазой и π -фазой и являются стабильными. Ни фазу, ни амплитуду этих колебаний изменить невозможно, если не прерывать подачу сигналов параметрического возбуждения или не приложить извне соответствующий сигнал достаточно большой амплитуды. Наличие двух устойчивых состояний может быть использовано для запоминания одной двоичной цифры в цифровой вычислительной машине (ЦВМ).

Как видно из рис. 1, время установления t'_y параметрона на субгармонике намного больше времени установления t_y параметрона на второй гармонике.

Скорость передачи информации в параметронных схемах зависит в основном от времени переходного процесса отдельных параметронов.

Переходной процесс параметрона является функцией добротности контура, коэффициента усиления и частоты параметрических колебаний

$$t_y = \frac{k_{yc}}{\left(\frac{m}{4} - \frac{d}{2}\right) \omega_0},$$

где k_{yc} — коэффициент усиления параметрона;
 m — индекс модуляции параметрона;
 d — затухание контура;
 ω_0 — собственная частота колебаний в контуре.

Максимальная частота тактовых импульсов вычислительного устройства на параметронах при трехтактном методе питания может быть определена из следующего соотношения, полученного из опыта [5]:

$$F_{ти} = \frac{f_n}{3k},$$

где f_n — частота накачки;

k — количество периодов частоты накачки за время переходного процесса параметрона.

Подставим значение k в выражение для $F_{ти}$:

$$F_{ти} = \frac{\left(\frac{m}{4} - \frac{d}{2}\right) \omega_0}{3 \ln k_{yc}}.$$

Переходный процесс индуктивных параметронов составляет 4—10 периодов частоты накачки против 10—30 периодов в параметроне на субгармонике.

Для повышения быстродействия параметрона необходимо повысить скорость нарастания амплитуды при каждом запуске параметрона.

Амплитуда колебаний в контуре нарастает по закону

$$A(t) = A_0 e^{\left(\frac{\Omega}{2} \mu - \alpha\right) t},$$

где A_0 — начальная амплитуда (амплитуда сигнала);

Ω — частота накачки;

α — коэффициент расстройки резонансного контура;

μ — коэффициент параметрического возбуждения.

На рис. 2 показан характер изменения амплитуды, полученный в результате расчета на ЭВМ, для параметрона второй гармоники $A_2 = f_2(t)$ и параметрона на субгармонике $A_1 = f_1(t)$.

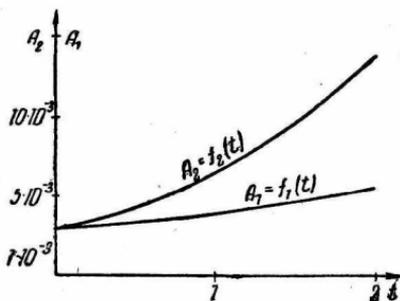


Рис. 2.

Экспериментально исследовались работы логических схем «И», «ИЛИ», собранных на параметронах второй гармоники, со следующими данными:

сердечник $\Phi = 1000$ ($5 \times 3 \times 1,8$ мм) с обмотками $\omega_1 = 10$ витков и $\omega_2 = 15$ витков, емкостью $C = 3000$ пф и частотой накачки — 1 мГц.

Анализ расчетных и экспериментальных результатов показал, что применение параметронов второй гармоники позволяет увеличить скорость работы логических схем примерно в три раза по сравнению со схемами на параметронах на субгармонике при одной и той же частоте накачки.

Также можно показать, что применение параметронов, работающих на второй гармонике, в качестве сравнивающих, усилительных и логических элементов дает возможность увеличить их надежность по сравнению с классическим параметроном при практически одинаковых соотношениях сигнал/шум.

Параметрон воспринимает малый внешний сигнал и реагирует на него в течение некоторого времени

$$\Delta t = m_r T = \frac{m_r}{f},$$

где m_r — число периодов, в течение которых параметрон управляется внешним сигналом;

$$T = \frac{1}{f}.$$

Входной сигнал параметрона складывается из суммы:

- 1) входных сигналов, поступающих с других параметронов;
- 2) синхронных наводок;
- 3) несинхронных наводок, помех и шумов.

Чем меньше время параметрон воспринимает внешний сигнал (т. е. чем быстрее устанавливаются колебания в параметроне), тем более широкий спектр частот воспринимается параметроном.

Не касаясь амплитудно-фазовых соотношений, можно приближенно считать, что принимаются все те составляющие, фазы которых изменяются за время Δt не более, чем на $\alpha T = \frac{2\alpha}{f_H}$ (во временном измерении [6]), где $0 < \alpha < 0,5$.

В этом случае на параметрон будут воздействовать колебания, принадлежащие частотному диапазону (f_1, f_2) , где

$$\frac{m_r}{f_2} + \frac{2\alpha}{f_H} = \Delta t = \frac{m_r}{f_1} - \frac{2\alpha}{f_H};$$

отсюда

$$f_2 - f_1 = f_n \left[\frac{1}{z \left(1 - \frac{\alpha}{m}\right)} - \frac{1}{z \left(1 + \frac{\alpha}{m}\right)} \right].$$

На примере получим оценку надежности между параметроном субгармоники и параметроном второй гармоники.

При $m_r = 3$ и $\alpha = 0,5$ полоса $f_2 - f_1 = 0,16$, а для параметрона на второй гармонике $m_r = 6$, $\alpha = 0,5$;

$f_2 - f_1 = 0,08$, т. е. эквивалентная добротность входного преобразования сигнала составляет соответственно 3 и 6.

Излагаемый в работе материал затрагивает вопросы, связанные с надежностью в работе параметрона второй гармоники. Основное внимание уделяется вопросам увеличения надежности при повышении быстродействия элементов схем.

Параметроны состоят из элементов, вероятности отказов которых, согласно справочным данным, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Количество	Опасность отказов $\lambda \times 10^{-6}$
Индуктивность	2	0,3 — 4,5
Сопротивления	2	0,04 — 0,5
Емкость	1	0,1 — 1,5
Пайки	6	0,1

Вычислим время T_{cp} [7] вероятности исправной работы схемы при непрерывной работе через опасность отказов λ_c

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i; \quad T_{cp} = \frac{1}{\lambda_c};$$

Для данного параметрона, согласно приведенной табл. 1,

$$T_{cp} = 8 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

Из сказанного видно, что параметрон, работающий на второй гармонике, позволяет создать схемы, менее чувствительные к шумам и помехам, более надежные в запуске при воздействии внешнего сигнала.

При работе параметронов в качестве логических элементов управляющие обмотки можно не использовать. Но в усилительных и преобразовательных элементах действие управляющих обмоток выступает на первый план. Это связано с тем, что при достаточно больших потерях в резонансном контуре можно сорвать генерацию параметрона, сохранив очень высокую добротность контура за счет параметрической накачки. В этих условиях ток, протекающий в управляющих обмотках, вызывает разбаланс сердечников и приводит к возникновению в цепи параметрического контура второй гармоники, амплитуда которой пропорциональна току управляющих обмоток. В свою очередь, сигнал с частотой 2ω значительно усиливается в результате параметрической накачки контура, подобно тому, как это имеет место в обычных регенеративных усилителях.

Подобные усилители-преобразователи [8] обладают целым рядом особенностей. Они позволяют усиливать и преобразовывать в переменный ток постоянный или медленно изменяющийся ток. Низкоомный вход усилителя-преобразователя позволяет согласовывать его с низкоомными датчиками, такими как терморпары, балометры и др.

Интересные возможности открывает также использование нескольких управляющих обмоток на одном параметроне. В этом случае можно сравнивать между собой один или несколько токов в гальванически не связанных между собой электрических цепях. В табл. 2 приведены некоторые данные ряда параметрических усилителей, выполненных на различных сердечниках.

Т а б л и ц а 2

Марка сердечника	f кГц	$\omega_1 \times \omega_2 \times \omega_0$	C , мкф	$R_{вх'}$ ком	$i_{вх'}$ мкА	K_n
79НМ	0,2	500×750×750	1,0	1—3	±200	500
79НМ	1,0	50×75×75	0,3	0,1—1	±150	600
79НМ	10	30×50×50	0,1	0,1—0,5	±150	600
Ф1000	100	20×30×30	0,05	0,1—0,5	±100	1000
Ф1000	1000	10×15×15	0,003	0,01—0,1	±100	1000

Дрейф нуля, приведенный по входу, составляет 1—5 мкВ за 6 часов.

Из приведенных данных следует, что с помощью параметрических усилителей можно получить значительные коэффициенты усиления: изменить величину входного сопротивления; при частоте накачки 1 мГц получить полосу пропускания в диапазоне от 0 до 10 кГц.

Параметрические усилители модуляторы хорошо согласуются с транзисторными элементами и позволяют построить ряд интересных схем, в том числе усилители постоянного тока [8] и следящей системы [9], а также нуль-индикаторы [10].

Теоретический и экспериментальный анализ параметронов, работающих на второй гармонике, позволяет предвидеть также многочисленные применения этих приборов в качестве устройств, позволяющих измерять абсолютное значение магнитного поля, датчиков давления, у множителей частоты и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. И. Шведкий. Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом. Изд-во «Техника», 1964.
2. К. А. Нетребенко. Цифровые автоматические приборы. Госэнергоиздат, 1961.
3. Параметроны. Перевод с японского и английского. Изд-во иностр. лит-ры. 1962.
4. И. В. Вагнер. Автопараметрический резонатор. «Автоматика», 1956, № 4.

5. Н. И. Пакулов. Параметроны и их применение в цифровой технике. Изд. ВИРТА, Харьков, 1962.

6. Б. П. Комолов и др. Параметроны в цифровых устройствах. Изд-во «Энергия», 1968.

7. Т. Я. Ходоров. Цифровые управляющие машины. Изд-во «Машиностроение», 1964.

8. Б. М. Булгаков, П. И. Чередников. Досліджування параметричного підсилювача-перетворювача постійного струму. Матеріали Харківської Обласної науково-технічної конференції. Харків, Вид-во ХДУ, 1972.

9. Б. М. Булгаков, П. И. Чередников. Параметрический модулятор в усилителе следящей системы. Сб. «Радиотехника», вып. 19, Харьков, Изд-во ХГУ, 1971.

10. Б. М. Булгаков, П. И. Чередников. Нуль-индикатор для электронного траектографа на параметрическом модуляторе. Сб. «Радиотехника», вып. 19. Харьков, Изд-во ХГУ, 1971.