Реферат на тему:

**"ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ И УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОГЕНЕРАТОРА"**

**Введение**

В 1902–1904 годах датский ученый В. Поульсен, опираясь на опыт своих предшественников, сконструировал новый тип передающей радиостанции, где электромагнитные волны возбуждались не искровым разрядом, а электрической дугой. Поскольку процесс горения дуги непрерывный, то дуговой генератор обеспечивал получение колебаний постоянной амплитуды, т.е. незатухающих. Новый способ связи энергетически выгодный, дает меньше помех, обеспечивает возможность осуществлять амплитудную модуляцию и передавать человеческую речь.

Однако этот способ не торопились внедрять в жизнь по экономическим соображениям, присущим капитализму того времени, когда на чашу весов ставилось получение сверхприбыли, а не просто увеличение прибыли. Это определяло односторонний характер развития техники того времени, когда внедряются технические усовершенствования, приносящие сверхприбыль и отказываются от изобретений и научных открытий, если они этого не делают. Искровые радиостанции были относительно дешевы и надежны, а переход на любую другую конструкцию в только-только зарождающемся массовом радиотехническом производстве должен был бы обойтись весьма недешево.

Искровые генераторы позволяли работать на любых волнах, от дециметровых, в опытах Герца, до тысячеметровых, использованных, например, Маркони при трансатлантической передаче. Пришедшие им на смену другие передатчики из-за инерционности газового разряда в дуге могли применяться лишь на волнах больше тысячи метров. Правда, почти одновременно с дуговыми появились и два других типа устройств для генерации незатухающих колебаний: машинные и ламповые. Но в машинном генераторе для получения высокой частоты необходимо было раскручивать ротор машины с большой скоростью, а так как эта скорость имела определенный предел, машинный генератор мог работать только в длинноволновом диапазоне. Ламповый генератор годился для любых волн, но из-за несовершенства лампы с него удавалось снять лишь небольшие мощности. Поворот от длинноволновой связи к коротковолновой окончательно решил спор в пользу лампового генератора. Быстрый прогресс электроники привел к появлению в технике связи транзисторных генераторов, а затем и генераторов на интегральных микросхемах.

**Принцип получения незатухающих гармонических колебаний. Роль нелинейности. Сущность задачи исследования генераторов**

Для изучения физических основ процесса генерации обратимся к обычному контуру с высокой добротностью *Q* >> 1 (рис. 8.14). Если контуру сообщить некоторую энергию, зарядив, например, конденсатор *С* (положение ключа 1), а затем отключить источник и подключить конденсатор к контуру (положение ключа 2), то в контуре возникнут свободные колебания.



Рис. 8.14. Схема колебательного контура

Известно, что выражение для контурного тока *i* в квазиколебательном режиме (при *Q* > 0,5) имеет вид

(8.8)



где *Е*/1*L* – начальная амплитуда тока,

= *r*/2*L* – коэффициент затухания контура,

1 = – частота собственных колебаний контура,



0 = 1/ – резонансная частота контура.



Колебания тока убывают по амплитуде за счет множителя , т.е. являются затухающими, поскольку сопротивление контура является положительным. Для получения незатухающих колебаний необходимо восполнять потери энергии, т.е. вводить энергию в контур. Последнее можно трактовать как внесение в контур отрицательного сопротивления *r*(-) < 0 (рис. 8.15).



Рис. 8.15. Введение в контур отрицательного сопротивления

Если | *r*(-)| = *r*, то

,



т.е. амплитуда тока не изменяется. Это означает, что в контур вносится столько энергии, сколько теряется на сопротивлении *r*. Амплитуда колебаний зависит при этом от начальных условий (величины *Е*), что не отвечает определению автогенератора.

Если | *r*(-)| > *r*, то

(8.9)



т.е. амплитуда колебаний возрастает. Это означает, что в контур вносится больше энергии, чем теряется на сопротивлении *r*. Именно этот случай используется для создания генераторов. При этом нет необходимости в первоначальной зарядке конденсатора *С*, так как колебания будут возникать от собственных шумов, которые практически всегда имеют место.

Согласно принципу дуальности, по такому же закону изменяется напряжение на параллельном колебательном контуре (рис. 8.16), только под коэффициентом затухания здесь следует понимать = *G*/2*С*.



Рис. 8.16. Параллельный колебательный контур

Ясно, что для получения возрастающей с течением времени амплитуды напряжения необходимо вносить в контур отрицательную проводимость *G*(-) < 0 величиной *G*(-) > *G* (рис. 8.17).



Рис. 8.17. Введение в контур отрицательной проводимости

В практических схемах АГ отрицательные по переменному току сопротивление *r*(-) и проводимость *G*(-) получают с помощью усилительных элементов двухполюсного и трехполюсного типов, у которых на вольт-амперной характеристике имеется падающий участок, т.е. участок с отрицательным сопротивлением *r*(-) или проводимостью *G*(-):

(8.10)



К таким двухполюсникам относятся туннельный диод, тетрод в динатронном режиме, газоразрядные приборы, тиристоры и т.п. В усилительных элементах трехполюсного типа (электронная лампа, транзистор) падающий участок на выходной характеристике образуется при одновременном изменении входного и выходного напряжений в противоположных направлениях за счет цепи ОС.

На рисунке 8.18 приведены выходные характеристики одного из транзисторов *p-n-p* типа. Если напряжение на базе поддерживается постоянным, например *U*БЭ = – 0,45 В, то при увеличении напряжения на коллекторе ток коллектора только возрастает и никакого падающего участка на характеристике нет.

Если одновременно с увеличением напряжения на коллекторе уменьшать напряжение на базе, то зависимость приобретает явно падающий характер.



Рис. 8.18. Падающий участок на вольт-амперной характеристике транзистора

Противофазное изменение входного *U*БЭ и выходного *U*КЭ напряжений достигается введением цепи обратной связи с выхода усилительного элемента на его вход со сдвигом фазы на 180.

Возможны два типа вольт-амперных характеристик с падающими участками. Первый из них типа *S* имеет однозначную зависимость *u* = *f* (*i*), что иллюстрируется рисунком 8.19 а (отрицательное сопротивление *S*-типа, управляемое током). Второй, типа *N* (отрицательное сопротивление, управляемое напряжением), наоборот, однозначную зависимость *i* = *f* (*u*), что показано на рисунке 8.19, б (туннельный диод, диод Ганна, тетрод с динатронным эффектом).



а) б)

Рис. 8.19. Вольт-амперные характеристики с падающими участками

При использовании последовательного колебательного контура изменяется ток через усилительный элемент с вольт-амперной характеристикой типа *S* (рис. 8.19 а).

При использовании параллельного колебательного контура по гармоническому закону изменяется напряжение на усилительном элементе, поэтому необходим усилительный элемент с характеристикой типа *N* (рис. 8.19 б).

На рисунке 8.20 показан случай, когда к параллельному контуру подключен элемент с характеристикой типа *S*. Здесь изменяется напряжение по гармоническому закону и не удается использовать падающий участок. Характерным является то, что ток изменяется в фазе с изменением напряжения, в то время как при работе на падающем участке ток должен изменяться в противофазе с изменением напряжения.



Рис. 8.20. Случай подключения к параллельному контуру элемента с характеристикой типа *S*

Таким образом, при использовании с параллельным колебательным контуром нелинейного элемента с характеристикой типа *S* его сопротивление будет положительно и генерация невозможна.

Установка рабочей точки на падающем участке вольт-амперной характеристики осуществляется с помощью источника постоянного тока. В конечном счете, усилительный элемент потребляет энергию от этого источника по постоянному току и является источником энергии для контура по переменному току.

Чтобы ограничить нарастание амплитуды колебаний, в схеме генератора должна присутствовать еще и нелинейность, т.е. элемент, сопротивление которого зависит от амплитуды колебаний. Обычно эту функцию выполняет сам усилительный элемент. В этом случае с возрастанием амплитуды колебаний уменьшаются вносимые *r*(-) и *G*(-) по величине, и когда наступает равенство | *r*(-)| = *r* (| *G*(-)| = *G*), рост амплитуды колебаний прекратится. Такой установившийся режим гармонических колебаний называют стационарным состоянием. В стационарном состоянии усилительный элемент будет находиться в нелинейном режиме.

При исследовании генераторов приходится решать следующие задачи:

1. Выяснение условий, выполнение которых достаточно для возникновения гармонических колебаний. Эти условия принято называть условиями самовозбуждения. Указать условия самовозбуждения означает дать рекомендации к построению принципиальных схем автогенераторов.
2. Выяснение условий стационарности. Эти условия являются исходными для выбора режима и расчета элементов генератора.
3. Проверка на устойчивость. Возможных стационарных состояний генератора может быть несколько и, чтобы определить какое из них будет реализовано, требуется исследование на их устойчивость.
4. Исследование процесса установления стационарных колебаний, что особенно важно при импульсном режиме работы генератора.
5. Анализ поведения генератора при различных внешних воздействиях.

Рассмотрим основополагающие положения теории автогенераторов для решения вышеперечисленных задач.

**Линейная теория автогенератора. Условия самовозбуждения**

При рассмотрении схем автогенераторов можно заметить, что общий принцип работы любого автогенератора состоит в непрерывном поддержании самопроизвольно возникающих (без внешнего воздействия) периодических колебаний. Это достигается восполнением потерь энергии в резистивных элементах схемы автогенератора.

Основными элементами автогенератора, в общем случае, являются источник энергии (источник питания), пассивные цепи, в которых возбуждаются и поддерживаются незатухающие колебания с заданными параметрами (колебательная система) и активный прибор, преобразующий энергию источника питания в энергию генерируемых колебаний (рис. 8.21).



Рис. 8.21. Структурная схема автогенератора

Восполнение потерь в схеме автогенератора осуществляется с помощью активного прибора (АП), к которому приложено напряжение свободных колебаний. Для компенсации потерь в колебательном контуре требуется, чтобы ток через активный прибор *i*АП имел направление, указанное на эквивалентной схеме генератора (рис. 8.22).



Рис. 8.22. Эквивалентная схема автогенератора

Изобразим активный прибор через его проводимость – *G*АП и представим эквивалентную схему автогенератора (рис. 8.22) по переменному току в следующем виде (рис. 8.23):



Рис. 8.23. Эквивалентная схема автогенератора по переменному току

Активный прибор обладает отрицательной проводимостью – *G*АП < 0, что означает, что в контур вводится энергия, компенсирующая потери на активной составляющей проводимости колебательного контура *G*Э. Отрицательную проводимость можно получить, как уже указывалось выше, шунтируя контур приборами, имеющими падающий участок на вольт-амперной характеристике (туннельным диодом, тиристором и т.д.), а также с помощью положительной обратной связи.

В схеме на рисунке 8.23 согласно первому закону Кирхгофа



где



Выразим токи через напряжение *U*К, тогда

(8.11)



Продифференцируем выражение (8.11) по *t* и разделим на *С*К

(8.12)



Учитывая, что резонансная частота контура



получим

(8.13)



Уравнение (8.13) получило название дифференциального уравнения автогенератора. Оно является нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка, так как коэффициент при первой производной *G*АП (крутизна вольт-амперной характеристики нелинейного элемента) зависит от переменной *U*К и совпадает с дифференциальным уравнением колебательного контура (тема 3.1). В общем случае решения уравнений такого типа неизвестны. Существуют приближенные методы, позволяющие получить результаты с заданной степенью точности (особенно на ЭВМ). Следует однако иметь ввиду, что в начале зарождения колебаний амплитуда их очень мала и рабочая область на характеристике будет линейной, где бы не находилась рабочая точка. Это означает, что *G*АП (крутизна вольт-амперной характеристики нелинейного элемента) не будет зависеть от *U*К и дифференциальное уравнение окажется линейным. Общим решением такого уравнения (8.13) является временная зависимость напряжения на колебательном контуре:

(8.14)



где – частота свободных (затухающих) колебаний контура;



– коэффициент затухания.



Амплитуда свободных колебаний, описываемых уравнением (8.14), определяется выражением и зависит от коэффициента затухания . При > 0 (рис. 8.24 а) свободные колебания в контуре будут затухающими, так как проводимость потерь превышает проводимость активного прибора (*G*Э > *G*АП).



а) б) в)

Рис. 8.24. Амплитуда свободных колебаний при различных

Если проводимость потерь *G*Э компенсировать отрицательной вносимой проводимостью *G*АП, то при = 0 возникшие в контуре колебания будут продолжаться бесконечно долго, т.е. станут незатухающими (рис. 8.24 б). Если же по абсолютной величине вносимая отрицательная проводимость будет больше проводимости потерь (|*G*АП| > *G*Э), то > 0 и колебания в контуре будут нарастать (рис. 8.24 в), т.е. возникают условия самовозбуждения.

Таким образом, выявление условий самовозбуждения сводится к анализу генератора как линейной цепи и поэтому называется линейной теорией. При этом не обязательно составлять дифференциальное уравнение, а можно использовать известные методы анализа линейных цепей на устойчивость, так как нарушение устойчивости и есть самовозбуждение.

Под условиями самовозбуждения понимаются такие условия, выполнение которых приводит к появлению колебаний в автогенераторе. Условие |*G*АП| > *G*Э говорит о том, что для обеспечения самовозбуждения автогенератора достаточно иметь отрицательную проводимость *G*АП (крутизну вольт-амперной характеристики нелинейного элемента) в рабочей точке по абсолютной величине большую, чем проводимость потерь контура *G*Э. Это означает, что приток энергии от активного прибора в пассивную цепь превышает потери энергии в ней.

Частота колебаний, возникающих в автогенераторе, равна собственной частоте колебательного контура. Отсюда следует, что сумма реактивных составляющих эквивалентной проводимости контура *В*Э и *В*АП равна нулю *В*Э + *В*АП = 0. Достаточные условия самовозбуждения можно записать в следующем виде:

(8.15)



где – комплексные проводимости активного прибора и колебательного контура соответственно.



Первое условие указывает на то, что энергия, выделяемая активным элементом, превышает энергию всех потерь в схеме (амплитудное условие). Второе условие свидетельствует о том, что колебания могут возникнуть лишь на частоте резонанса «обобщенной нагрузки», т.е. на частоте резонанса линейной цепи с учетом реактивной проводимости, вносимой нелинейным элементом (фазовое условие).



Если автогенератор рассматривать как автоколебательную систему, состоящую из усилителя, выход которого связан с входом с помощью цепи обратной связи (рис. 8.25), то для того, чтобы в автоколебательной системе возникли и поддерживались незатухающие колебания, необходимо, чтобы вносимая в систему энергия вводилась в такт (в фазе) с возникшими колебаниями, а по величине должна быть достаточной для компенсации потерь.



Рис. 8. 25. Автоколебательная система с обратной связью

Пусть с выхода усилителя часть выходного напряжения через цепь обратной связи подается на его вход. При условии, что на выходе цепи обратной связи сигнал по амплитуде и по фазе равен внешнему сигналу, т.е.

(8.16)



можно вместо внешнего возбуждения подать на вход усилителя напряжение с выхода цепи обратной связи. Из (8.16) находим

(8.17)



Так как вносимая энергия в систему должна превышать ее потери, то из (8.17) получаем следующую форму записи условий самовозбуждения:

(8.18)



Первое условие (8.18) является амплитудным, а второе – фазовым условием самовозбуждения.

Поскольку обобщенные схемы автогенераторов (рис. 8.23 и 8.25) по существу эквивалентны, то условия (8.15) справедливы и для схемы генератора с обратной связью (рис. 8.25). Однако для такого представления схем генераторов более удобна форма записи (8.18).

Пример 8.7.

Определить условия самовозбуждения для автогенератора с трансформаторной обратной связью (рис. 8.26).



Рис. 8.26. Автогенератор с трансформаторной обратной связью

Решение задачи.

Применим критерий устойчивости Найквиста. Для этого разорвем цепь обратной связи и заменим генератор эквивалентной схемой по переменному току (рис. 8.27).



Рис. 8.27. Эквивалентная схема автогенератора

Входная и выходная проводимости транзистора пересчитаны к контуру и учтены в *G*Э. Напряжение обратной связи, снимаемое с *L*Б, определяется выражением



В свою очередь, ток



где



Тогда



Согласно критерию устойчивости, автогенератор возбудится, если



Фазовое условие самовозбуждения будет выполнено, если дробь будет вещественной и положительной. Для этого в знаменателе мнимая часть должна равняться нулю



Следовательно, фазовое условие самовозбуждения выполняется на резонансной частоте контура.

Амплитудное условие самовозбуждения следует проверять только на этой частоте



**Литература**

1. Богданов Н.Г., Лисичкин В.Г. Основы радиотехники и электроники.: Автоколебательные цепи. – 2000.

2. Никольский И.Н., Хопов В.Б., Варокосин Н.П., Григорьев В.А., Колесников А.А. Нелинейные радиотехнические устройства техники связи. – Л.: 1972.