**Реферат на тему:**

**"ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОГЕНЕРАТОРАХ"**

Критерии устойчивости

Любая радиоэлектронная система содержит ряд устройств, через которые проходят электрические сигналы. Рассмотренные ранее усилительные каскады (как примеры усилительных цепей) представляют собой устройства, увеличивающие мощность электрического сигнала (в частном случае гармонического колебания), подаваемого на вход. Возникает вопрос – что является источником этого гармонического сигнала? Природа механических колебаний проста и понятна – качание маятника, колебание пружины и т. д. С электрическими колебаниями несколько сложнее. При рассмотрении переходных процессов в колебательном контуре уже возникала ситуация, когда после подачи на вход перепада напряжения или тока в контуре возникали гармонические колебания тока или напряжения. Эти колебания носили затухающий характер, так как амплитуда их уменьшалась по экспоненциальному закону. Частота этих колебаний, а также скорость затухания определялись первичными параметрами колебательного контура – *R*, *L*, *C*. Но при построении аппаратуры электросвязи требуются устройства, вырабатывающие гармонические сигналы с постоянной амплитудой и неизменной частотой без какого-либо воздействия извне. При этом должна существовать возможность изменять в некоторых пределах номинальные значения амплитуды и частоты вырабатываемых колебаний. Такие устройства и называют автоколебательными цепями или автогенераторами. Как и усилительные каскады, автогенераторы преобразуют энергию источника постоянного тока в энергию радиочастотных колебаний. Но, в отличие от усилителей, у автогенераторов отсутствует источник гармонического колебания на входе. Колебания должны возникать самопроизвольно, то есть автоматически, после включения электропитания. Существует большое множество автогенераторов, отличающихся своими параметрами, но принципы их построения и функционирования во многом сходны. В основе этих принципов лежит теория устойчивости, основоположником которой является известный русский ученый А.М. Ляпунов.

Большинство существующих схем автогенераторов можно представить в виде каскада с положительной обратной связью (ПОС). При соответствующем выборе параметров этой ОС усилительный каскад становится неустойчивым и возникает самовозбуждение усилителя, т. е. усилитель превращается в автогенератор. Рассмотрим условия, при которых это возможно.

На рисунке 8.1 показана схема усилителя с обратной связью, у которого входной сигнал отсутствует (как и должно быть у автогенератора).



Рис. 8.1. Схема усилителя с обратной связью при отсутствии входного сигнала

Запишем выражение для *U*ВЫХ (*р*):



или

(8.1)



Предположим, что схема на рисунке 8.1 является автогенератором, т. е. устройством, самопроизвольно вырабатывающим гармонические колебания *U*ВЫХ (*р*) 0. Тогда равенство (8.1) будет справедливо при тех значениях *р*, которые являются корнями характеристического уравнения

(8.2)



Значения этих корней будут определять возможность возникновения и частоту генерируемых колебаний (после соответствующей замены оператора *р* на *j*). Из теории устойчивости следует, что система с обратной связью (рис. 8.1) будет устойчивой, если все корни характеристического уравнения (8.2) будут иметь отрицательные вещественные части, т. е. располагаться в левой полуплоскости комплексной плоскости *р*К = К + *j*К. Если хотя бы один из корней *р*К имеет положительную вещественную часть (К > 0), то система становится неустойчивой. Известно, что неустойчивые электрические цепи не могут находиться в состоянии покоя. Любое случайное воздействие, каким бы оно малым не было (например, флуктуации теплового тока транзистора), вызывает нарастающие по амплитуде свободные колебания. Значение амплитуды колебаний в реальных электрических цепях ограничено нелинейными свойствами активного элемента, а частота определяется мнимой частью корня *р*К после замены *р* на *j*. В цепи, таким образом, устанавливаются свободные электрические колебания с определенной частотой и постоянной амплитудой.

Задача вычисления корней характеристического уравнения (8.2) решается элементарно только в простейших случаях.

Для определения возможности самовозбуждения заданной электрической цепи разработаны и используются методы, позволяющие судить об устойчивости цепи без вычисления корней характеристического уравнения (8.2). Эти методы получили название критериев устойчивости.

В настоящее время известен ряд критериев устойчивости. Не все они одинаково удобны и универсальны, в каждом конкретном случае один из них может оказаться удобнее других. Чаще всего в теории электрических цепей используются критерии, предложенные А. Гурвицем (1895 г.), А.В. Михайловым (1938 г.) и Г. Найквистом (1932 г.). Любой из этих критериев позволяет без решения характеристического уравнения (8.2) ответить на вопрос: будет ли данная электрическая цепь работать устойчиво (как усилительный каскад) или перейдет в режим автогенерации электрических колебаний. Рассмотрим вышеназванные критерии подробнее.

Критерий Гурвица.

Этот критерий уже рассмотрен в теме 3.1 курса ТЭЦ. Суть его заключается в следующем. Операторная передаточная функция (ОПФ) рассматриваемой электрической цепи представляется в виде отношения двух полиномов

(8.3)



Условием устойчивости является то, что полином знаменателя *N* (*р*) должен являться полиномом Гурвица. Это полином, у которого определитель, составленный из коэффициентов *аk*, *k* = 1, 2, …, *n* по правилам, предложенным Гурвицем, и все его главные миноры принимают положительные значения. Данный критерий относится к числу алгебраических критериев устойчивости. Напомним правила составления определителя Гурвица. На главной диагонали определителя выписываются коэффициенты уравнения в том порядке, в каком они расположены в уравнении, начиная с *а*1. В каждом из столбцов определителя под диагональным элементом выписываются коэффициенты с убывающими, а над ним – с возрастающими индексами. Все коэффициенты, индексы которых превышают *n*, или отрицательны, заменяются нулями.

Пример 8.1.

Проверить с помощью критерия Гурвица устойчивость системы, описываемой передаточной функцией



Решение задачи.

Полиному знаменателя соответствует определитель Гурвица



Главные миноры этого определителя:



Определитель и все его миноры положительны. Следовательно, все корни рассматриваемого уравнения полинома знаменателя лежат в левой полуплоскости комплексной плоскости и система устойчива.

Критерий Михайлова.

Это один из наиболее простых и эффективных критериев устойчивости. Суть его заключается в следующем. Электрическая цепь будет устойчивой, если при изменении переменной от 0 до аргумент *N* () полинома *N* (*j*) знаменателя операторной передаточной функции *Т*(*р*) возрастает на угол 0,5*n* радиан, где *n* – степень полинома *N* (*р*). В практических случаях часто удобнее пользоваться геометрической трактовкой этого критерия: электрическая цепь будет устойчивой, если годограф *N* (*j*) при изменении частоты от 0 до , начиная с вещественной оси комплексной плоскости (*аn* 0, т. е. начальная точка годографа при = 0 не должна быть нулевой), последовательно обходит *n* квадрантов в положительном направлении, т. е. против часовой стрелки.

Пример 8.2.

Пусть дана электрическая цепь второго порядка с характеристическим уравнением



Пользуясь критерием Михайлова оценить устойчивость.

Решение задачи.

Заменим *р* на *j* и получим



Вычислим вещественную и мнимую части *N* (*j*) для нескольких значений и сведем полученные результаты в таблицу 8.1.

Таблица 8.1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |  |
| *Re* [*N* (*j*)] | 1 | 0 | –3 | –8 | –15 | – |
| *Im* [*N* (*j*)] | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |  |

Изобразим годограф *N* (*j*) на комплексной плоскости (рис. 8.2).

Очевидно, что с ростом частоты конец вектора *N* (*j*) последовательно проходит два квадранта, начиная с первого. Следовательно, согласно критерию Михайлова, цепь устойчива.



Рис. 8.2. Построение годографа полинома знаменателя

Пример 8.3.

Пусть электрическая цепь описывается передаточной функцией



где



Оценить устойчивость электрической цепи.

Решение задачи.

Заменим *р* на *j* и получим



Используя критерий Михайлова, построим годограф функции *N* (*j*), давая последовательно значения частоты от 0 до (рис. 8.3):



Рис. 8.3. Годограф функции *N* (*j*)

Очевидно, что в данном случае электрическая цепь не является устойчивой, так как конец вектора из первого квадранта переходит в четвертый и затем в третий, т. е. нарушается последовательность обхода, хотя общее число квадрантов, в которых побывал конец вектора, равно трем, т. е. совпадает с порядком характеристического уравнения *N* (*р*).

Критерий Найквиста. Этот критерий, как и критерий Михайлова, является частотным (в отличие от алгебраического критерия Гурвица). Он позволяет судить об устойчивости усилителя с обратной связью по виду частотной характеристики данного усилителя при разомкнутой цепи ОС. Суть критерия состоит в следующем. Система с ОС устойчива, если годограф разомкнутой системы не охватывает точку на комплексной плоскости с координатами (1, *j*0). В противном случае система будет неустойчива и может рассматриваться как автогенератор.

Рассмотрим критерий подробнее. На рисунке 8.4 показана схема усилителя с ОС.



Рис. 8.4. Схема усилителя с ОС

Можно записать

.



Тогда частотная передаточная функция этой системы будет равна



Отсюда

(8.4)



Система (рис. 8.4) будет неустойчивой, если знаменатель передаточной функции (8.4) обратится в нуль:



Очевидно, что это возможно при выполнении двух условий:

1) (8.5)



2) (8.6)



Условия (8.5) и (8.6) называют, соответственно, условиями баланса амплитуд и баланса фаз. Физически они означают, что для самопроизвольного нарастания амплитуды собственных колебаний (возникающих, например, в виде незначительных флуктуаций теплового тока активного элемента) необходимо, чтобы колебания, возвращаемые на вход усилителя по цепи ОС, совпадали по фазе с существующими во входной цепи (баланс фаз), при этом общее усиление должно быть достаточным для компенсации потерь в пассивных цепях (баланс амплитуд).

Если систему, приведенную на рисунке 8.4, представить в разомкнутом виде (рис. 8.5), то общий коэффициент усиления можно записать в виде:

(8.7)



Рис. 8.5. Схема усилителя с разомкнутой цепью ОС

Изменяя значение частоты от 0 до и откладывая полученные значения модуля и фазы на комплексной плоскости, получим годограф вектора передаточной функции. Точка с координатами (1, *j*0) соответствует значениям фазы (*k* = 0, 1, 2, …) и модуля а это и есть рассмотренные условия самовозбуждения.



Таким образом, если годограф передаточной функции охватывает точку с координатами (1, *j*0), то система (рис. 8.5) будет неустойчивой при замкнутой цепи ОС, так как будет хотя бы одна частота Г, на которой будут выполняться условия баланса амплитуд и фаз, и усилитель самовозбудится.

На рисунке 8.6 показаны годографы устойчивой (а) и неустойчивой (б) систем соответственно.



Рис. 8.6. Годографы устойчивой (а) и неустойчивой (б) систем

Возможен случай, когда система устойчива, но для нее справедливы соотношения (8.5) и (8.6). Ей соответствует годограф, представленный на рисунке 8.7. На практике такие системы встречаются редко и не представляют практического интереса в теории автоколебательных цепей.



Рис. 8.7. Пример годографа устойчивой системы, для которой выполняются условия самовозбуждения

Рассмотрим несколько примеров на определение устойчивости электрических цепей.

Пример 8.4.

Исследовать устойчивость усилителя с резистивно-емкостной нагрузкой, выход которого непосредственно соединен с входом (рис. 8.8).



Рис. 8.8. Схема усилителя с резистивно-емкостной нагрузкой

Решение задачи.

Изобразим эквивалентную схему усилителя (рис. 8.9).



Рис. 8.9. Эквивалентная схема усилителя

Так как выход усилителя непосредственно соединен с его входом, то очевидно, что значит, необходимо определить *К* (*j*):



где *R*Э = *R*H*Ri* / (*R*H + *Ri*);

*Y* = 1 / *R*H + 1 / *Ri* + *jC*H;

= *R*Э*С*Н;

*К*0 = *g*21*R*Э.

Уравнение амплитудно-фазовой характеристики примет вид:



Построенная амплитудно-фазовая характеристика имеет вид (рис. 8.10):



Рис. 8.10. Годограф АФХ усилителя

Замкнутая кривая АФХ целиком находится в левой полуплоскости и не охватывает точку с координатами (1, *j*0). Таким образом, при соединении выхода данного усилителя с входом, система будет устойчивой.

Иногда в практических схемах затруднительно определить какой является ОС. Для ее определения необходимо исследовать цепь на устойчивость.

Пример 8.5.

В системе с обратной связью основной элемент имеет коэффициент усиления *К*0 = 1000, не зависящий от частоты. Цепь ОС имеет постоянный коэффициент передачи 0 = 510-4*exp* (-*j*45). Какой является обратная связь в данной системе?

Решение задачи.

Структурная схема системы имеет вид (рис. 8.11):



Рис. 8.11. Структурная схема системы с ОС

Для выяснения вида ОС необходимо проверить выполнение условия



Если рассматриваемое выражение будет больше 1, то связь будет отрицательной, так как ее введение уменьшает модуль коэффициента передачи системы, если же меньше, либо равно 1, то связь – положительная, что приводит к самовозбуждению системы.

,



Таким образом, связь является положительной, так как модуль коэффициента передачи получился меньше 1, и данную систему можно использовать для реализации автогенератора.

**Основные требования к автогенераторам. Область применения и классификация**

Электрическая цепь, в которой устанавливаются незатухающие электрические колебания с заданными параметрами (формой, частотой, амплитудой и т. д.) без какого-либо воздействия извне, называется автогенератором.

Все автогенераторы можно разделить на два класса:

* автогенераторы гармонических колебаний;
* автогенераторы релаксационных (не гармонических) колебаний.

В курсе ТЭЦ изучаются автогенераторы (АГ) гармонических колебаний, которые в дальнейшем будем называть просто генераторами. Они используются в радиопередающих устройствах в качестве источников колебаний несущей частоты, в радиоприемных устройствах в качестве гетеродинов, в технике многоканальной связи в качестве задающих генераторов для формирования несущих и контрольных частот, а также в качестве генераторов тонального вызова, в измерительной технике и т. д.

С энергетической точки зрения генератор представляет собой устройство, преобразующее энергию постоянного тока в энергию гармонических колебаний, параметры которых (амплитуда, частота и начальная фаза) определяются только собственными параметрами устройства и не зависят от начальных условий. Отсюда следует, что усилитель не может являться генератором, хотя тоже преобразует энергию постоянного тока в энергию усиливаемых колебаний, поскольку параметры его выходных колебаний зависят от параметров входного колебания.

К генераторам предъявляются следующие основные требования:

1. Стабильность частоты генерируемых колебаний.
2. Получение требуемой мощности выходных колебаний в нагрузке при одновременном сохранении их гармонической формы.
3. Перекрытие заданного диапазона частот.
4. Высокий КПД.
5. Стабильность амплитуды колебаний в нагрузке с изменяющимися параметрами.
6. Малые габариты и вес, высокая надежность и т. д.

В зависимости от назначения автогенераторов, особенностей работы той аппаратуры, где они применяются, различные типы генераторов вырабатывают колебания с частотами от единиц герц до десятков и сотен мегагерц, а также с мощностями от десятков долей милливатт до единиц киловатт. Они могут плавно или дискретно перестраиваться в заданном диапазоне частот или иметь фиксированную настройку. Поэтому критерии, по которым классифицируются генераторы гармонических колебаний, многообразны.

Не останавливаясь на классификации генераторов по их назначению и основным техническим характеристикам, выделим критерии и признаки, позволяющие классифицировать генераторы по их структуре.

1. По принципу действия они делятся на генераторы с внешней цепью положительной обратной связи (на усилительных элементах трехполюсного типа) и генераторы с внутренней связью (на усилительных элементах двухполюсного типа).

2. По типу применяемого усилительного элемента генераторы делятся на:

* ламповые;
* полупроводниковые (транзисторные, на туннельном диоде, на параметрическом или лавинно-пролетном диоде);
* генераторы с газоразрядными приборами;
* генераторы на интегральных микросхемах и т. д.

3. По составу колебательной системы:

* генераторы *LC*-типа, когда колебательная система состоит из элементов емкости *С* и индуктивности *L*;
* генераторы *RC*-типа, когда колебательная система не содержит элементов индуктивности *L*.

4. По способу обеспечения внешней обратной связи:

а) генераторы *LC*-типа:

* с индуктивной (трансформаторной) обратной связью;
* с автотрансформаторной обратной связью;
* с емкостной обратной связью;

б) генераторы *RC*-типа:

* со сдвигом фазы на 180 в цепи обратной связи;
* с нулевым фазовым сдвигом в цепи обратной связи.

1. По технологии изготовления генераторы различают: на дискретных элементах и в интегральном исполнении.

**Литература**

1. Богданов Н.Г., Лисичкин В.Г. Основы радиотехники и электроники. Автоколебательные цепи.–2000. – С. 4-21.

2. Никольский И.Н., Хопов В.Б., Варокосин Н.П., Григорьев В.А., Колесников А.А. Нелинейные радиотехнические устройства техники связи.– Л.: 1972.– С. 224-225, 233-235.

3. Кушнир В.Ф., Ферсман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей.– М.: Связь, 1972.– С. 186-201.

4. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей.– М.: Связь, 1972.– С. 118-135.