

Лабораторная работа № 5

УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ И СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Составитель А.Г.Леситьев, ст. преподаватель

Рецензент В.Г.Санников, доцент

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомления с основами расчета ЛС - генераторов, условиями их самовозбуждения, изучения стационарного режима работы ЛС - генератора в мягком и жестком режимах и физических процессов, протекающих при его работе.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Изучить указанную литературу и приложение к данной работе; продумать ответы на контрольные вопросы.

2.2. Ознакомиться с описанием работы и лабораторным заданием. Составить и привести в отчете структурные схемы измерений по каждому пункту лабораторного задания.

2.3. Методом трех ординат по характеристике прямой передачи $I_{cm} = \varphi(E_{3u})$, приведенной на рис. 1 для значения E_0 , заданного в табл. 1, рассчитать и построить колебательную характеристику $I_{mI} = f(U_{m3u})$.

2.4. По полученной в п. 2.3 колебательной характеристике рассчитать и построить зависимость $S_1 = \varphi(U_{m3u})$ крутизны по первой гармонике от амплитуды воздействия U_{m3u} . На этом же графике провести прямую обратной связи, соответствующую возбуждению колебаний без внешнего толчка.

Таблица 1

N _{кр}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E ₀ , В	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Схема, гравированная на передней панели лабораторного макета, приведена на рис. 2. Активным элементом схемы является полевой транзистор КПСЗЛ. Нагрузкой в цепи стока транзистора является контур $L_K C_K$, с которым индуктивно связана катушка обратной связи L_{oc} . Для изменения обратной связи (ОС) к выводам L_{oc} подключен потенциометр R_n , перемещая ручку которого можно изменять коэффициент КОС в пределах от 0 до 1, что и отмечено на его лимбе.

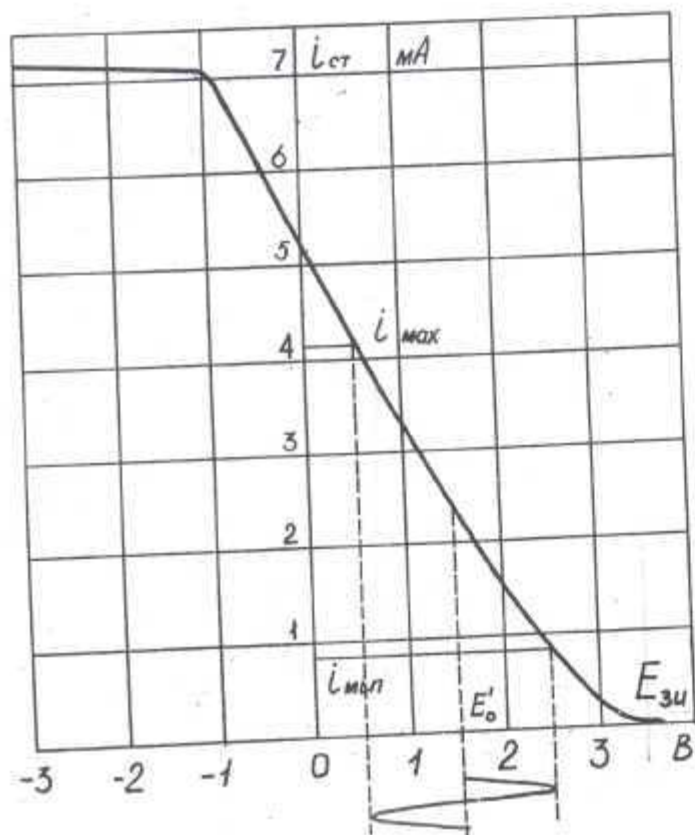


Рис. 1

Переключатель П меняет режим работы схемы, в положении 1 цепь ОС отключается, и мы имеем усилительный режим работы, при котором усиливается внешний сигнал, подводимый к клеммам $U_{вх}$. Усиленный сигнал наблюдается с помощью осциллографа ОI-55 (ОI-72) или измеряется на клеммах $U_{к}$ вольтметром В7-26; в положении 2 цепь ОС подключена, и устройство работает в генераторном режиме. Напряжение генерируемого сигнала наблюдается или измеряется на клеммах $U_{к}$. Мгновенные значения тока стока $i_{ст}$ на клеммах

даchi $i_{ст} = f(E_{3u})$ транзистора, она измеряется экспериментально, в усилительном режиме при отсутствии входного сигнала.

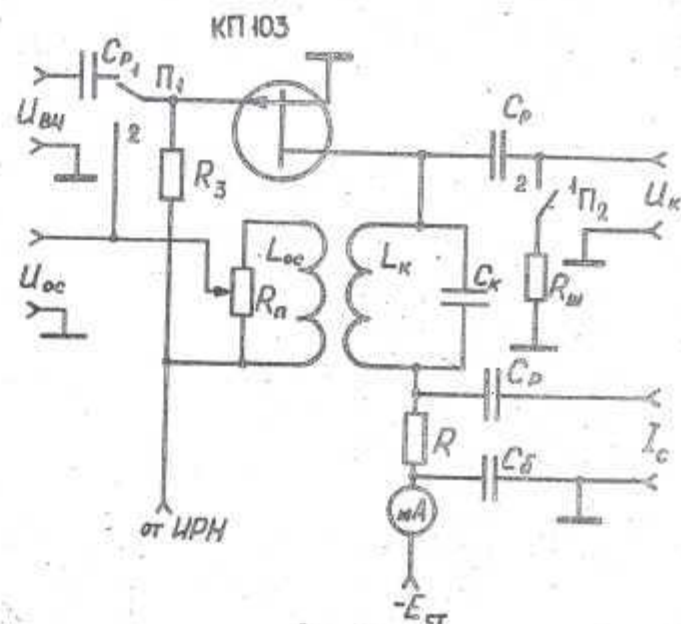


Рис. 2

Постоянная составляющая тока стока измеряется миллиамперметром (мА), расположенным справа на наклонной панели стенда. Пределы измерения (5 мА или 25 мА) устанавливаются тумблером, находящимся под миллиамперметром. Миллиамперметр необходим при измерении характеристики прямой передачи транзистора. Напряжение E_{3u} на затворе транзистора меняется регулировкой напряжения выхода блока ИРН и измеряется вольтметром блока ИРН. Напряжение на контуре измеряется вольтметром В7-26 стенда в режиме измерения переменного напряжения.

Для определения коэффициента пересчета шкалы напряжения на контуре генератора в шкалу токов по первой гармонике вычислим методом трех ординат по измеренной характеристике прямой передачи амплитуду тока первой гармоники $I_{m1} = 0,5(i_{max} - i_{min})$

в рабочей точке E_0^* , соответствующей линейному участку характеристики $i_{cm} = f(E_{zu})$. Амплитуда воздействия U_{mzu} подбирается в пределах $0,5 \div 1$ В. Для той же амплитуды эффективного значения напряжения от ГЗ-109 $U_{zu} = 0,707 U_{mzu}$ и смещением E_0^* определяется экспериментально напряжение на контуре генератора U_K^* (с помощью вольтметра В7-26):

$$k U_K^* = I_{nI} = 0,5 (i_{max} - i_{min}),$$

$$k = \frac{i_{max} - i_{min}}{2 U_K^*}, \quad \frac{n A}{B}$$

Рабочие точки E_0^M , E_0^* для мягкого и жесткого режимов определяются экспериментально. Мягкий режим будет при том смещении E_0^M , когда возбуждение и срыв колебаний происходит при одном и том же положении движка потенциометра R_n , а жесткий E_0^* , если точка возбуждения отличается от точки срыва (желательно пять-десять делений). Значения смещений для мягкого E_0^M и жесткого E_0^* режимов записываются.

4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Определить напряжения смещения на затворе полевого транзистора АГ при работе его в мягком E_0^M и жестком E_0^* режимах возбуждения. Измерить и построить зависимость напряжения на контуре генератора U_K от величины $K_{ос}$ для мягкого и жесткого режимов.

4.2. Нарисовать форму тока стока полевого транзистора в мягком режиме возбуждения при $K_{ос}$, близком к срыву колебаний, и когда $K_{ос} = 1$.

4.3. Измерить и построить колебательные характеристики в мягком и жестком режимах для смещения, определенных в п. 4.1.

4.4. Измерить и построить характеристику прямой передачи транзистора, изменяя E_{zu} в пределах от минуса 3 В до напряжения запирания транзистора.

4.5. Отметить на характеристике прямой передачи (п. 1) рабочие точки для мягкого и жесткого режимов из п. 4.1.

4.6. Определить коэффициент обратной связи $K_{ос}$ для мягкого режима возбуждения при шунтировании контура генератора резистором.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

При составлении отчета следует руководствоваться требованиями к отчету по лабораторным работам. Отчет должен содержать структурные и принципиальные схемы измерений, результаты домашнего расчета, экспериментальные характеристики и проведенные по ним расчеты. Следует также провести теоретическое объяснение полученных результатов эксперимента и изложить сущность линейного метода и метода гармонической линеаризации (квазилинейного).

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

1. Дайте определение коэффициента обратной связи.
2. Дайте определения колебательной характеристики и приведите метод ее измерения.
3. Как и почему зависит форма колебательной характеристики от выбора рабочей точки?
4. Что такое крутизна по первой гармонике и как она определяется по колебательной характеристике?
5. Запишите условия самовозбуждения генератора.
6. Запишите условия стационарной амплитуды генератора.
7. Дайте определение статической и динамической устойчивости.
8. Дайте определение устойчивости стационарных режимов генератора.
9. Особенности "мягкого" и "жесткого" режимов работы генератора.
10. Разновидности схем автогенераторов (трехточечные схемы).
- II. Как зависят условия самовозбуждения от параметров схемы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кушир В.Ф., Ферман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей. - М.: Связь, 1974, с. 179-191, 201-222.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Радио и связь, 1986, с. 270-285.
3. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. - М.:

ПРИЛОЖЕНИЕ

Генератор гармонических колебаний можно представить в виде устройства, состоящего из колебательной системы (L, C, K) с потерями и резистора с отрицательным сопротивлением, который может подключаться к контуру как последовательно (рис. 3,а), так и параллельно (рис. 3,б). Резистор с отрицательным сопротивлением можно трактовать как преобразователь энергии постоянного тока в энергию переменного тока. Если суммарное активное сопротивление колебательной системы отрицательно, то она возбуждается (генерирует).

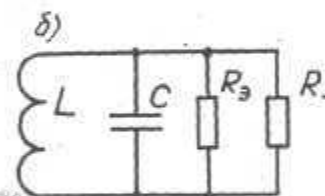
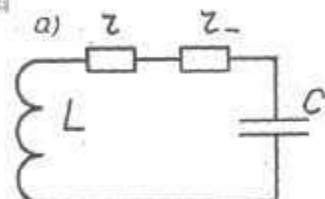


Рис. 3

Условие самовозбуждения схемы рис. 3,а: $|Z_-| < r$, а схемы рис. 3,б: $|R_-| < R_3$ ($\frac{R_- R_3}{R_- + R_3} < 0$).

Отрицательное сопротивление может быть обусловлено физическими процессами в электронном приборе (туннельный диод, лавинно-пролетный диод, диод Гана, тетрод и т.д. (внутренняя ОС)) или создаваться в схеме за счет внешней обратной связи.

Обратная связь (ОС) есть полная или частичная передача отклика системы на ее вход. ОС положительна, если она приводит к увеличению входного сигнала, и отрицательна, если приводит к уменьшению входного сигнала. При гармонических колебаниях в системе в зависимости от разности фаз между воздействием и сигналом обратной связи $\varphi_{ос}$ различают: ОС положительная, если $\varphi_{ос} = 2\pi k$, $k = 0, 1, 2, \dots$; ОС отрицательная $\varphi_{ос} = \pi(2k+1)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, в противном случае ОС комплексная.

Схемный вариант получения двухполупериодного отрицательного сопротивления показан на рис. 4,а. Он состоит из активного элемента (АЭ) (транзистора, лампы, полевого транзистора) и цепи внешней обратной связи (ЦОС), состоящей из последовательно соединенных комплексных сопротивлений Z_1 и Z_2 . Если обратная связь осуществляется через взаимную индуктивность M (рис. 4,б), то простое преобразование дает Т-образную схему (рис. 4,в). С учетом сказанного, схему, показанную на рис. 4,а, можно привести к виду, более удобному для

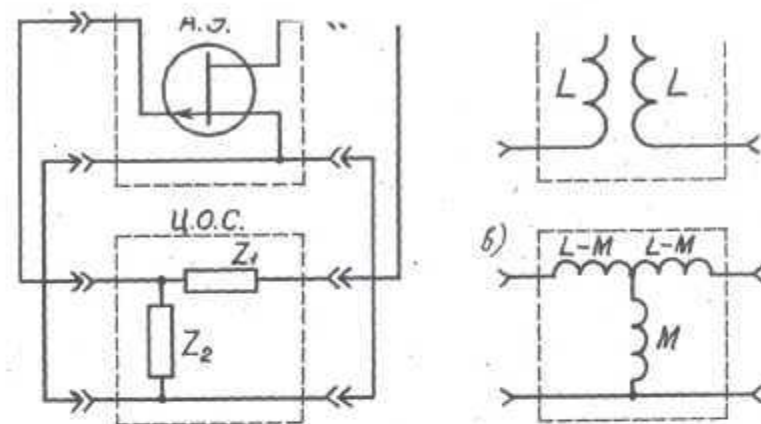


Рис. 4

анализа (рис. 5,а). Обозначим токи и напряжения на рис. 5,а. Используя эти обозначения, рассчитаем $Z_{экв}$, $Y_{экв}$, $Z_{экв}$ -

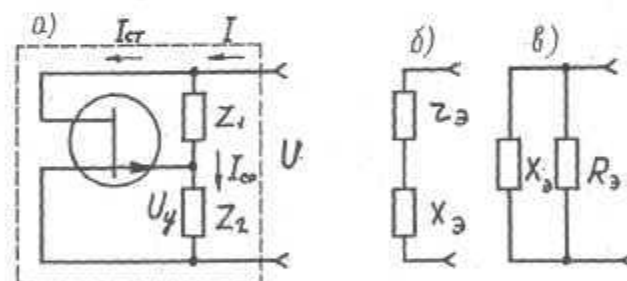


Рис. 5

это последовательное соединение реактивной X_3 и активной r_3 частей (рис. 5,б); $Y_{экв}$ - это параллельное соединение реактивной X_3 и активной R_3 частей (рис. 5,в):

$$I = I_{cm} + I_{cp} \quad (1)$$

$$I_{cm} = S(U_y + Du) \quad (2)$$

где S - дифференциальная крутизна характеристики $i_{cm} = f(E_{30})$;

D - коэффициент транзистора $D = I_{\phi} / S R_i$;
 R_i - входное сопротивление транзистора.

$$I_{cm} = S U_y + D S U = S U_y + \frac{U}{R_i} \quad (3)$$

Из рис. 5, а следует, что

$$U_y = \frac{U Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (4)$$

$$I_{cp} = \frac{U}{Z_1 + Z_2}. \quad (5)$$

Подставляя в (1) последовательно (3), (4), (5), имеем:

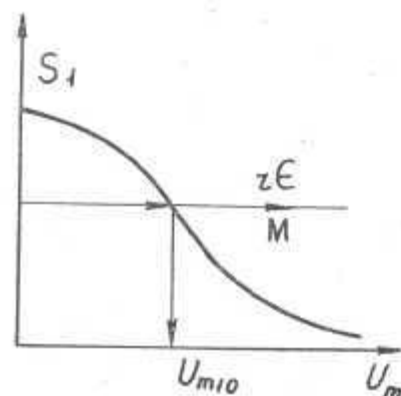


Рис. 6

$$I = \frac{S Z_2 U}{Z_1 + Z_2} + \frac{U}{R_i} + \frac{U}{Z_1 + Z_2}, \quad (6)$$

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{S Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{Z_1 + Z_2}, \quad (7)$$

$$Y = \frac{S Z_2 + 1}{Z_1 + Z_2} + \frac{1}{R_i} = \frac{S + G_2}{1 + Z_1 G_2} + \frac{1}{R_i},$$

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{S}{1 + Z_1 G_2} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{Z_1 + Z_2}. \quad (8)$$

Если проницаемость $D \ll 0,01$, $|Z_1| \gg |Z_2|$ и $I_{\phi} \ll I_{cm}$, то формула (6) упрощается до вида (9):

$$I = \frac{S Z_2 U}{Z_1 + Z_2}. \quad (9)$$

Из формулы (9) определяем (10) (11):

$$Z_3 = \frac{U}{I} = \frac{Z_1}{S Z_2}, \quad (10)$$

$$Y_3 = \frac{S Z_2}{Z_1}. \quad (11)$$

По упрощенной формуле (10) определяем значения Z_3 для различных элементов Z_1 и Z_2 (табл. I).

Применение комплексной обратной связи (Z_1, Z_2 рис. 5, а) позволяет получить эквивалентный двухполюсник с заданными значениями параметров: емкостный, индуктивный, с отрицательным и положительным дифференциальным сопротивлением, комбинация реактивного и резистивного элементов (с положительным $\varphi_{oc} \leq \pm 90^\circ$ и отрицательным $180^\circ > \varphi_{oc} > 90^\circ$ сопротивлениями).

Условия самовозбуждения LC-генератора.
 Для генератора эквивалентная схема рис. 3, б.

$$R_- \leq R_3; R_3 = \rho Q = f^2 / r = L / (C r); R_- = \frac{L}{M S}.$$

$$\frac{L}{M S} \leq \frac{L}{C r}; M \geq \frac{r C}{S}, \quad (12)$$

$$S \geq \frac{r C}{M}. \quad (13)$$

Любое возникновение колебаний начинается с малых амплитуд, а для малых амплитуд нелинейная характеристика в любой рабочей точке точно аппроксимируется линейной зависимостью. В этом сущность метода линеаризации. Поэтому уравнения (12)-(13) линейны. Разделим правую и левую части уравнения (12) на L , тогда

$$\frac{M}{L} \geq \frac{1}{S L / r C} = \frac{1}{S R_3}; K_{oc} = \frac{M}{L};$$

$$K_y = S R_3; K_{oc} \geq \frac{1}{K_y}; K_y \cdot K_{oc} \geq 1,$$

где K_{oc} - коэффициент обратной связи;

K_y - коэффициент усиления активного элемента.

При работе с большим сигналом используется крутизна по первой гармонике. Проводимость G_{11} по первой гармонике (крутизна S_1

... эту величину называют средней крутизной. При больших амплитудах для мгновенных значений система нелинейна, а для амплитудных — линейна. Поэтому говорят о методе гармонической линеаризации (квазилинейном). При изменении амплитуды меняется параметр (крутизна по первой гармонике).

Условие стационарной амплитуды. В стационарном режиме энергия, вводимая в колебательную систему, за период колебания, равна рассеиваемой в ней за то же время. Вводимую энергию характеризует отрицательное сопротивление (или проводимость) по первой гармонике:

$$R_{-I} = \frac{U_{m1}}{I_{m1}}, \quad S_I = I_{m1}/U_{m1} = G_I. \quad (I5)$$

Для расчета S_I надо знать I_{m1} , поскольку U_{m1} задано. В общем случае I_{m1} определяется преобразованием Фурье выходного тока. Первая гармоника тока приблизительно может быть вычислена по формуле трех ординат:

$$I_{m1} = 0,5 (i_{max} - i_{min}), \quad (I6)$$

где i_{max} и i_{min} определяются из характеристики транзистора $i_{cm} = f(E_{3u})$ (см. рис. I). Для конкретного значения смещения E_0 , заданного в табл. I, и амплитуды воздействия U_m вычислим по (I6) I_{m1} . По формуле (I5) рассчитываем $S_I(U_m)$ для 5-7 значений U_m и строим график $S_I(U_m) | E_0 = const$.

Стационарная амплитуда возможна только в нелинейной системе и для ее определения заменим в формуле (I3) S на S_I , а неравенство на равенство

$$S_I(U_m) = \frac{rC}{M}. \quad (I7)$$

Графическое решение нелинейного уравнения (I7) есть точка пересечения прямой обратной связи rC/M и кривой $S_I(U_m) | (U_{m10})$ (рис. 6) или

$$K_y(U_m) = S_I(U_m) R_3 = \frac{1}{K_y}.$$

Если с изменением связи $M(K_{00})$ колебания нарастают плавно, а возбуждение и прыг колебаний происходит при одном и том же значении связи $M_{кр}(K_{00кр})$, то говорят, что генератор работает в мягком режиме (рис. 6, рис. 7,а).

Если с изменением связи $M(K_{00})$ колебания возбуждаются и сгасаются скачком и это происходит при разных значениях связи $M_{кр} > M_{ср}$; $K_{00кр} > K_{00ср}$; $M_{кр}(K_{00кр})$ — связь, при которой возбуждаются колебания; $M_{ср}(K_{00ср})$ — связь, при которой гасятся колебания, то это жесткий режим работы генератора (рис. 7,б).

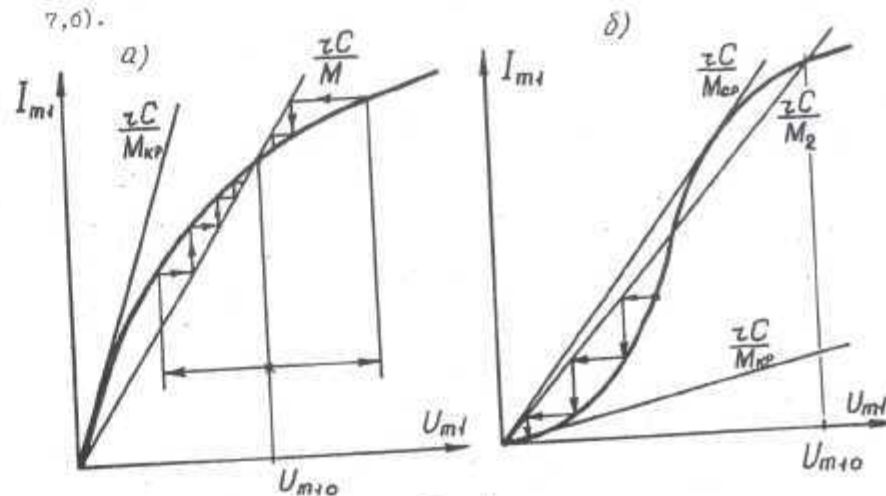


Рис. 7

При исследовании работы генератора иногда удобнее пользоваться не зависимостью $S_I(U_m)$, а зависимостью

$$I_{m1} = f(U_m). \quad (I8)$$

Зависимость (I8) называется колебательной характеристикой. Она характеризует свойства нелинейного (активного) элемента генератора (транзистор, лампа). Прямая обратной связи характеризует линейную часть генератора (контур, цепь обратной связи M):

$$S_I(U_m) = \frac{I_{m1}(U_m)}{U_m} = \frac{rC}{M}. \quad (I9)$$

$$I_{m1}(U_m) = \frac{rC}{M} U_m. \quad (20)$$

рагной связи даст значение стационарной амплитуды U_{m10} (рис. 7). По колебательной характеристике мы находим ток I_{m1} в цепи нелинейного элемента при заданной амплитуде воздействия U_m . По прямой обратной связи мы находим обратную зависимость $U_m = \frac{M}{rC} I_{m1}$, т.е. какое будет напряжение на входе нелинейного элемента, если ток, текущий в контур, есть I_{m1} . Эти определения позволяют просто решать вопрос об устойчивости положения равновесия и устойчивости амплитуды колебаний.

Состояние системы называется устойчивым, если отклонение от этого состояния со временем стремится к нулю.

Можно рассматривать статическую устойчивость (устойчивость положения равновесия) и решать, является ли рассматриваемая система генератором. Динамическая устойчивость позволяет ответить на вопрос, устойчива или нет амплитуда стационарных колебаний.

Если система возвращается в исходное состояние только при малых отклонениях от него, то говорят об устойчивости в малом. Если система возвращается в исходное состояние при любых отклонениях от него, то говорят об устойчивости в большом.

Таблица I

Z_1	R	C	L	R	L	C	L-M
Z_2	C	R	R	L	C	L	M
	$L_3 = \frac{RC}{S}$	$C_3 = CR S$	$L_3 = \frac{L}{RC}$	$C_3 = \frac{LS}{R}$	$R_3 = \frac{LC\omega^2}{S}$	$R_3 = \frac{1}{LC\omega^2 S}$	$R_3 = -\frac{L}{MS}$

Лабораторная работа № 5

УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ И СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

по курсам

ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

Редактор Г.Д. Сазанина
Корректор Т.П. Дрючкова

Подписано в печать 10.02.87. Формат 60х84/16. Печать офсетная.
Объем 0,8 п.л. Тираж 2000 экз. Изд. № 86. Заказ 94. Бесплатно.

Типография ВЗЗИС. Москва, ул. Авиамоторная, 8.