

В О П Р О С Ы
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Серия

ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ (ТТ)

Отдельный оттиск

УДК 53.072 : 681.31

*Доцент, канд. техн. наук Л. Н. Щелованов,
инженеры Я. И. Лукьянченко, Е. М. Доронин и Ю. В. Тарасов*

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ЦВМ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРИЕМНИКА

Дана методика моделирования на ЦВМ искажений раstra, которые возможны при различных отклонениях в работе систем синхронизации телевизионной аппаратуры. Полученные результаты могут быть положены в основу определения норм для разработки исходных данных при проектировании таких систем. Для оптимизации использованы метод регулярного поиска (метод градиента) и метод случайного поиска. Приведены результаты оптимизации параметров системы ИФАПЧ строчной развертки телевизионного приемника.

В современной приемной телевизионной аппаратуре для синхронизации задающего генератора строчной развертки широко используется система импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ) [1]. Качество телевизионного изображения в значительной степени зависит от динамики процессов, происходящих в системе ИФАПЧ при различных возможных возмущениях. Неправильно выбранные параметры кольца ИФАПЧ и неоптимальная структура системы приводят к искажениям фазы колебаний задающего генератора развертки, а следовательно, и к искажениям раstra.

Для оптимального проектирования системы ИФАПЧ строчной развертки необходимо:

- иметь нормы допустимых искажений раstra, вызываемых системой синхронизации,
- разработать критерий для оценки качества работы системы синхронизации,
- выбрать метод оптимизации параметров системы синхронизации в соответствии с критерием качества,
- найти оптимальные параметры системы синхронизации (ИФАПЧ), решая задачу на оптимизацию системы.

Решение этих задач значительно облегчается при использовании ЦВМ.

Для выяснения вопроса о допустимых искажениях раstra производилось их моделирование на ЦВМ путем сдвига строк по различным законам. Такой вид искажений имеет место в телевизионных приемниках из-за плохой работы системы синхронизации строчной развертки.

При моделировании искажений раstra сигнал изображения с фото-телеграфного аппарата вводился во внешнюю память ЦВМ «Минск-22». Ввод (вывод) изображения форматом 200×200 мм в память машины производился с помощью специально разработанной аппаратуры ввода-вывода изображения в ЦВМ [2]. Далее программным способом осуществлялся сдвиг строк по различным законам в соответствии с возможными искажениями, вносимыми системой синхронизации. Моделировались регулярные искажения раstra (сдвиг строк по синусоидальному закону и через строку на постоянную величину), а также флуктуация строк (по закону случайной функции с нормальным и равномерным распределением).

На ЦВМ моделировалась флуктуация строк по закону случайной функции с математическим ожиданием $M_x = 0$ и дисперсией $\sigma = 2$ (рис. 1а). При вводе изображения в ЦВМ линия развертки располагалась



Рис. 1. Искаженные репродукции двухстрочной миры (а) и текста (б)

нормально к вертикальным линиям изображения. Во втором случае моделировалось синусоидальное искажение раstra (рис. 1б). При вводе изображения (текста) в ЦВМ линия развертки располагалась по отношению к строкам текста под углом. Период колебания фазы строк был $T = 12$ элементов, а амплитуда $A = 5$ элементов.

Поражающее действие искажений раstra на воспроизводимое изображение в значительной степени зависит от характера искажений, структуры изображения, направления линии развертки по отношению к изображению. Ощутимое искажение мелких деталей происходит при фазовых сдвигах, начиная с одного элемента разложения. Особенно ощутимы искажения раstra при направлении линии развертки под углом к вертикальным линиям. Наименьшее искажение претерпевают протяженные детали, расположенные вдоль линии развертки. При передаче изображения, состоящего из мелких деталей, допустимый сдвиг строк не должен превышать 1—2 элементов разложения.

Метод моделирования искажений раstra позволяет с большой точностью и весьма оперативно оценить (проверить) поражающее действие этого вида искажений при передаче и приеме изображений различной структуры. Такая возможность открывает большие перспективы при проектировании систем синхронизации.

В рассматриваемой задаче полученные данные будут использованы для оценки результата оптимизации системы ИФАПЧ.

Система ИФАПЧ (рис. 2), состоящая из импульсно-фазового дискриминатора, фильтра низкой частоты и синхронизируемого релаксатора (мультивибратора), представляет собой замкнутую импульсную систему автоматического регулирования, работающую в ключевом режиме. В литературе [3, 4] описан алгоритмический (машинный) метод исследования

процессов в системе ИФАПЧ при произвольном входном воздействии. Алгоритм расчета процесса в виде логической схемы приведен на рис. 3, причем отдельные коэффициенты, входящие в рекуррентные соотношения, зависят от параметров звеньев и соответственно равны:

$$A_0 = 2\eta_1 - 1; \quad A_1 = 2\eta_1 + 1; \quad \eta_1 = \frac{T_1}{T}, \quad \text{где } T_1 = R_{\Sigma 1} C_2;$$

$$B_0 = 1 - \frac{1}{2\eta_2}; \quad B_1 = 1 + \frac{1}{2\eta_2}; \quad \eta_2 = \frac{T_2}{T}, \quad \text{где } T_2 = R_{\Sigma 2} C_2;$$

$$D_0 = \frac{1}{12} - \frac{1}{2} \eta_3 (1 + k_2 + k_1 k_2) + \eta_3^2 k_1 k_2; \quad G_0 = \frac{1}{12} - \frac{1}{2} k_1 k_2 \eta_3;$$

$$D_1 = \frac{5}{6} - 2\eta_3^2 k_1 k_2; \quad G_1 = \frac{5}{6};$$

$$D_2 = \frac{1}{12} + \frac{1}{2} \eta_3 (1 + k_2 + k_1 k_2) + \eta_3^2 k_1 k_2; \quad G_2 = \frac{1}{12} + \frac{1}{2} k_1 k_2 \eta_3,$$

где $k_1 = \frac{R_4}{R_3}$, $k_2 = \frac{C_4}{C_3}$, $\eta_3 = \frac{T_3}{T}$ (причем $T_3 = R_3 C_3$), $\eta_4 = \frac{1}{K_M T}$

(K — коэффициент усиления, $R_{\Sigma 1}$ и $R_{\Sigma 2}$ — эквивалентные сопротивления генераторов напряжений в схеме замещения фазового дискриминатора, K_M — крутизна регулировочной характеристики мультивибратора).

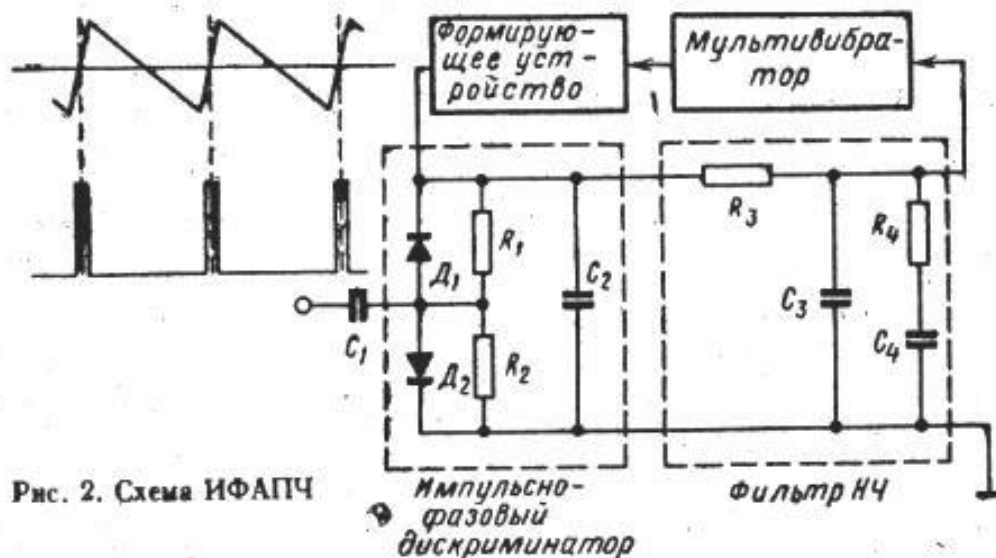


Рис. 2. Схема ИФАПЧ

Задача оптимального проектирования сводится к определению оптимальных параметров системы ИФАПЧ, при которых обеспечивается минимум функции качества. Вопрос о выборе функции качества тесно связан с типовыми возмущениями, характерными для проектируемой системы.

Для системы ИФАПЧ такими возмущениями являются изменения фазовых сдвигов, происходящих из-за нестабильности частоты задающих генераторов, и искажения синхроимпульсов при их передаче, обусловленные действием помех.

Рассмотрим первую часть задачи, связанную с оптимизацией параметров, обеспечивающих точность работы системы ИФАПЧ при типовом возмущении вида «скачок частоты» (из-за нестабильности частоты генераторов).

Для этого возмущения найдем параметры системы, при которых наилучшим образом будет протекать процесс.

Можно считать, что наилучшее протекание процесса в системе телевизионной синхронизации имеет место при минимуме суммарной квадратичной оценки, которая выражается через входную переменную системы ИФАПЧ $\theta_{вх}[n]$ (рис. 4):

$$Q = \sum_{n=0}^{\infty} \theta_{вх}^2[n] \rightarrow \min. \quad (1)$$

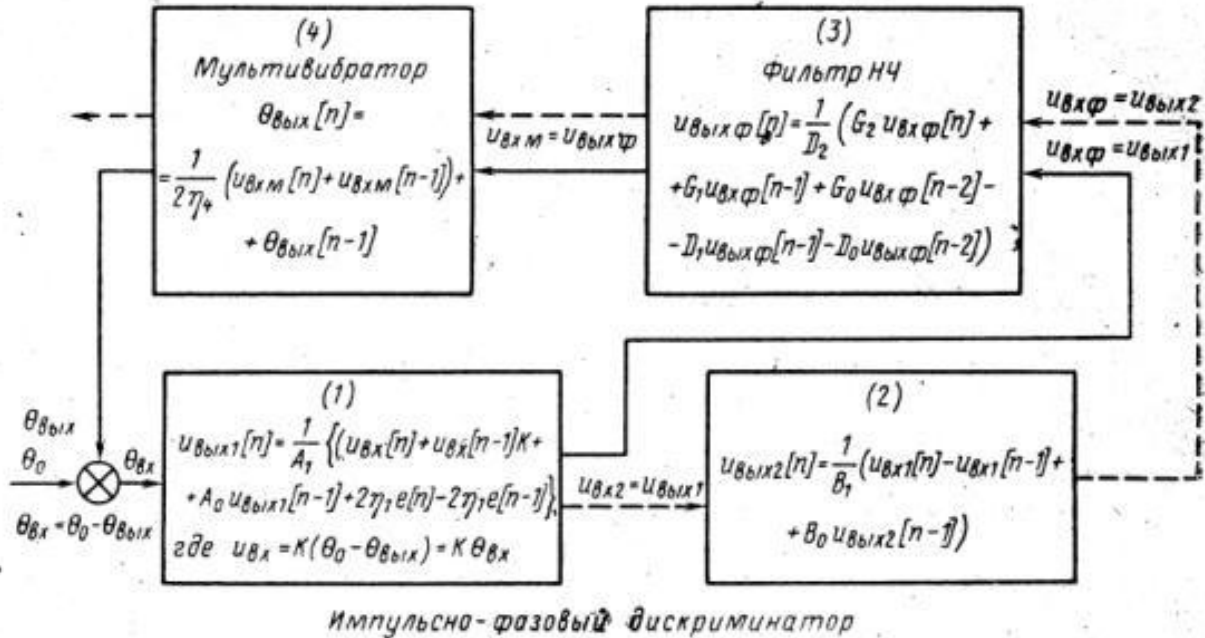


Рис. 3. Алгоритм расчета процесса в виде логической схемы

Можно принять и другой вид оценки, когда под знаком суммы находится не квадрат входной переменной, а ее абсолютное значение (модуль):

$$Q = \sum_{n=0}^{\infty} |\theta_{вх}[n]| \rightarrow \min. \quad (2)$$

Эти функции учитывают положительные и отрицательные значения входной переменной в дискретные моменты времени.

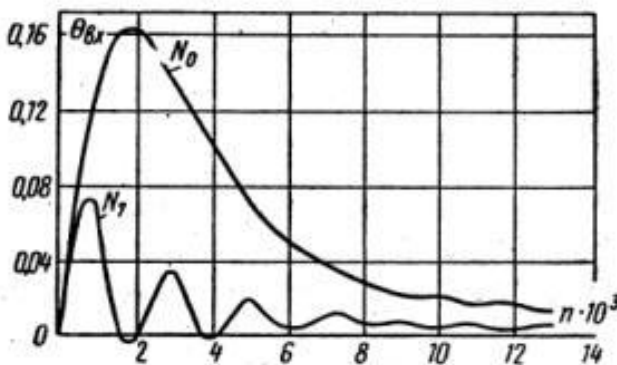


Рис. 4. График входной величины до (N_0) и после (N_7) оптимизации методом градиента

Выражения (1) и (2) и являются функциями качества, по которым следует производить оптимизацию параметров системы ИФАПЧ. Оптимизация выполняется двумя методами: одним из методов регулярного поиска (методом градиента) и методом случайного поиска (поиск с шагом назад). Решаемая задача относится к задачам по оптимизации многопараметрической системы. Как известно, поведение системы ИФАПЧ (рис. 2) зависит от значений параметров $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, K, k_1, k_2$, причем параметры η_1, η_2, η_4 и K характеризуют поведение импульсно-фазового дискриминатора и управляемого мультивибратора, а параметры η_3, k_1 и k_2 относятся к фильтру низких частот (ФНЧ). Этот фильтр является обособленным элементом и в основном служит для подавления помех. С учетом этого задача оптимизации ИФАПЧ может быть разбита на две: оптимиза-

ция параметров импульсно-фазового дискриминатора и мультивибратора и оптимизация параметров ФНЧ. В данной статье приводится материал, касающийся первой части задачи; при этом предполагается, что параметры ФНЧ уже выбраны оптимальными и, таким образом, задача несколько упрощается. При оптимизации необходимо учесть характер (структуру) выражений, описывающих процесс в системе, по которым будет определяться функция качества. Такими выражениями являются рекуррентные соотношения, позволяющие рассчитать процесс на ЦВМ.

Задача такого характера может быть решена методами поисковой оптимизации [5, 6], причем можно использовать как регулярный, так и случайный поиск. Учитывая, что в оптимизируемой системе количество варьируемых параметров равно четырем ($\eta_1, \eta_2, \eta_4, K$), задачу можно решить двумя способами — методом градиента и методом случайного поиска с шагом назад [5].

Метод градиента

Сущность этого метода заключается в том, что система побуждается к движению в антиградиентном направлении, т. е. в направлении, обратном вектору градиента функции качества:

$$\text{grad } Q = \left(\frac{\partial Q}{\partial x_1}, \frac{\partial Q}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial Q}{\partial x_n} \right).$$

Поиск разбивается на два этапа. На первом этапе (анализе) производится определение составляющих градиента, т. е. частных производных функции качества по оптимизируемым параметрам:

$$\frac{\partial Q}{\partial x_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Во время второго этапа совершается рабочий шаг, т. е. производится смещение в направлении, обратном градиенту:

$$x_i^{(N+1)} = x_i^{(N)} - a \frac{\partial Q}{\partial x_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где $a > 0$ — параметр длины рабочего шага.

Приближенно частные производные находятся по формуле:

$$\frac{\partial Q}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta x_i} = \frac{1}{\Delta x_i} [Q(x_1, x_2, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_n) - Q(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)] \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Для рассмотренной выше системы ИФАПЧ была составлена программа и проведена оптимизация параметров системы по методу градиента на ЦВМ «Минск-22». В качестве варьируемых параметров были выбраны η_1, η_2, η_4 и K . Значения $\Delta\eta_1, \Delta\eta_2, \Delta\eta_4$ и ΔK , используемые для нахождения частных производных, и параметр длины рабочего шага a для каждого параметра в ходе оптимизации менялись. Функция качества описывалась формулой (2):

$$Q = \sum_{n=0}^{10\,000} |\theta_{\text{вх}}[n]| = \sum_{n=0}^{10\,000} |\theta_0[n] - \theta_{\text{вых}}[n]|.$$

Здесь

$$\Theta_0[n] = K_0 n = \frac{2\pi}{N} \frac{\Delta f}{f} n,$$

где $N = 400$ — число выборок на один период синхросигнала строк (из них на синхроимпульс взято 20, на паузу — 380 выборок),

$\frac{\Delta f}{f}$ — взаимная относительная расстройка частот мультивибратора и синхроимпульсов.

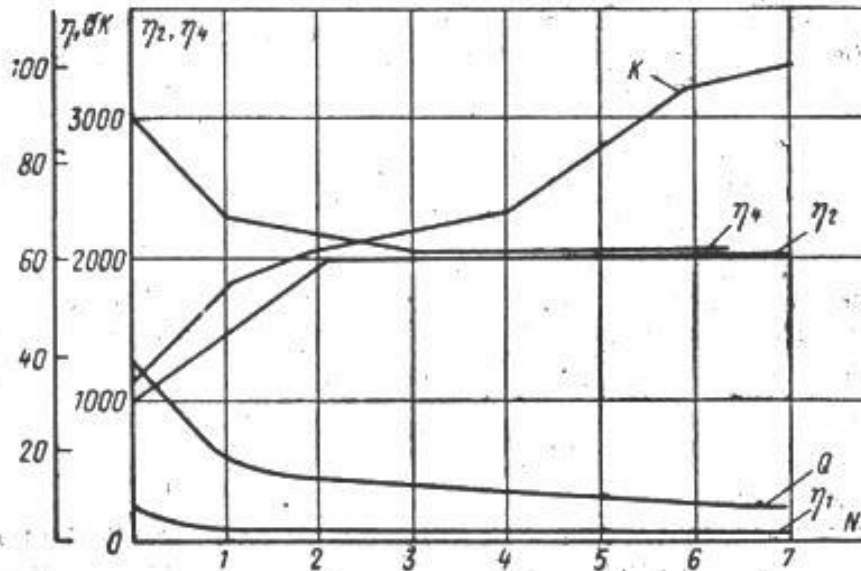


Рис. 5. Результаты оптимизации методом градиента

Оптимизация была проведена с учетом следующих значений заданных и варьируемых параметров: $\eta_3 = 4000$, $k_1 = 0,1$, $k_2 = 10$, $\eta_1 = 2 \div 10$, $\eta_2 = 500 \div 2000$, $\eta_4 = 2000 \div 5000$, $K = 20 \div 100$. Если значение параметра в ходе оптимизации выходило за наименьшую или наибольшую границу области, то оптимизация данного параметра заканчивалась и в качестве значения параметра выбиралась соответствующая граница области.

Результаты оптимизации приведены в табл. 1 и на рис. 5. Данная задача решалась на ЦВМ «Минск-22» в течение 1 ч 20 мин.

Таблица 1

Результаты оптимизации параметров ИФАПЧ методом градиента

Параметр	Номер шага							
	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7
K	35,00	55,12	60,78	65,00	70,33	85,64	95,43	100,0
η₁	6,00	2,52	2,50	2,43	2,40	2,21	2,08	2,00
η₂	1000	1500	2000	—	—	—	—	2000
η₄	3000	2310	2040	2000	—	—	—	2000
Q	38,64	16,32	13,75	12,31	11,37	9,32	8,44	8,00

Случайный поиск

Сущность этого метода заключается в том, что в процессе оптимизации производится случайное перебирание параметров исследуемой системы до тех пор, пока не будут найдены такие, которые обеспечивают выполнение определенных условий.

Наиболее подходящим вариантом случайного поиска для нашей цели является так называемый поиск с возвратом при неудачном шаге, или поиск с шагом назад [5].

Алгоритм для этого варианта поиска (выражение для шага) выглядит следующим образом:

$$\Delta X_{i+1} \begin{cases} aE & \text{при } Q(X_i) < Q(X_i - 1), \\ -\Delta X & \text{при } Q(X_i) \geq Q(X_i - 1). \end{cases}$$

Смысл этого алгоритма состоит в том, что в допусковых областях оптимизируемых параметров делается шаг в случайном направлении, E . Если значение функции качества в новом состоянии $Q(X_i + 1)$ больше или равно значению функции качества в исходной точке $Q(X_i)$, т. е. проба оказалась неудачной, то система возвращается в первоначальное состояние и затем снова делается шаг в случайном направлении. Если же функция качества уменьшилась, то сделанный шаг считается рабочим и последующий случайный шаг делается уже из нового состояния $X_{i+1} = X_i + \Delta X_{i+1}$. Под «шагом» понимается смещение системы из состояния X_i в состояние X_{i+1} с последующим вычислением функции качества в этом состоянии.

Блок-схема этого алгоритма оптимизации параметров показана на рис. 6. Расчет процесса ведется, как и в случае метода градиента, по логической схеме, изображенной на рис. 2.

В этом варианте поиска оптимизация проведена с учетом следующих значений заданных и варьируемых параметров: $\eta_3 = 6250$, $k_1 = 0,27$, $k_2 = 50$, $\eta_1 = 0,625 \div 6,25$, $\eta_2 = 625 \div 3000$, $\eta_4 = 8000 \div 15\,000$, $K = 30 \div 100$.

Функция качества описывалась выражением (2).

Согласно алгоритму, показанному на рис. 6, после операции ввода исходных данных по алгоритму, представленному на рис. 3, производится вычисление величин $\Theta_{\text{вх}}$, $u_{\text{вых } 1}$, $u_{\text{вых } 2}$, $u_{\text{вых } \phi}$, $\Theta_{\text{вых}}$ и Q — функции качества при $n = 50\,000$ (это значение n выбрано из соображений установившейся ошибки). При этом в памяти ЦВМ «Минск-22» запоминается подсчитанное значение Q при $n = 50\,000$. Затем следует операция в блоке 3 (рис. 6) — обращение к датчику случайных чисел (ДСЧ), где выбираются значения приращений параметров, потом, после вычисления варьируемых параметров с учетом полученных приращений, производится проверка условий, которым должны отвечать варьируемые параметры.

В том случае, если какой-либо из параметров не отвечает условию ограничения («Нет»), процесс далее не развивается и следует новое обращение к ДСЧ. Такой цикл обращения к ДСЧ продолжается до тех пор, пока не будут выполнены условия ограничения. В случае выполнения условий в блоке 5 (рис. 6) следует вычисление в блоке 6 параметров $\Theta_{\text{вх}}$, $u_{\text{вых } 1}$, $u_{\text{вых } 2}$, $u_{\text{вых } \phi}$, $\Theta_{\text{вых}}$ и Q при выбранных с помощью ДСЧ данных. Подсчитанное значение Q сравнивается в блоке 7 с предыдущим значением. Если $Q_{i+1} \geq Q_i$, т. е. условие ограничения не выполняется («Нет»), то следует новое обращение к ДСЧ, с последующим повторением всех предыдущих операций. Если $Q_{i+1} < Q_i$, то все полученные параметры выводятся на печать, на чем и заканчивается первый шаг оптимизации.

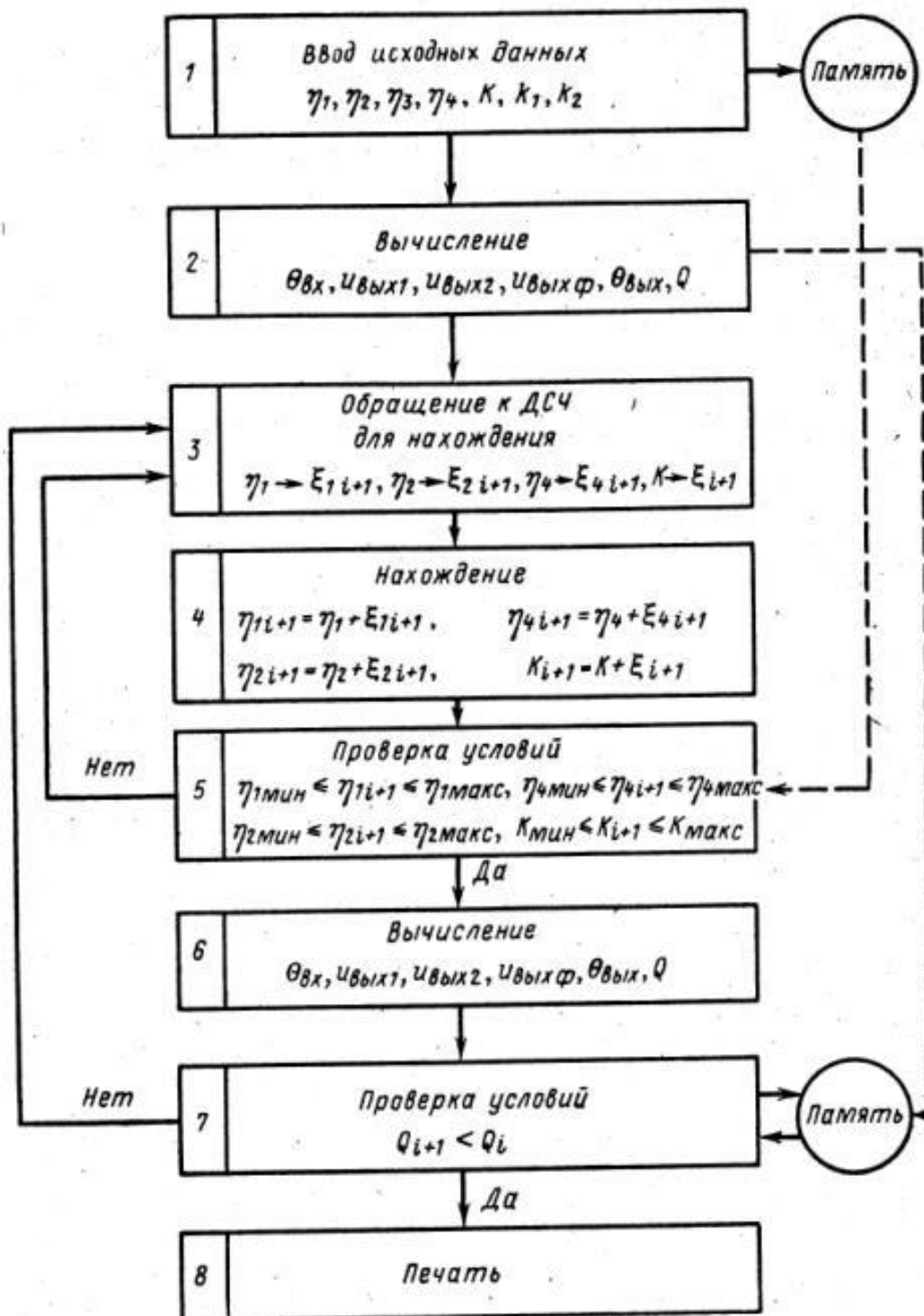


Рис. 6. Блок-схема алгоритма оптимизации параметров методом случайного поиска с шагом назад

В следующем шаге в качестве исходных используются полученные параметры, и дальнейший процесс идет аналогично процессу в первом шаге.

Результаты оптимизации методом случайного поиска приведены в табл. 2 и на рис. 7 и 8. Этот вариант задачи на оптимизацию решался на ЦВМ «Минск-22» в течение 2 ч 50 мин.

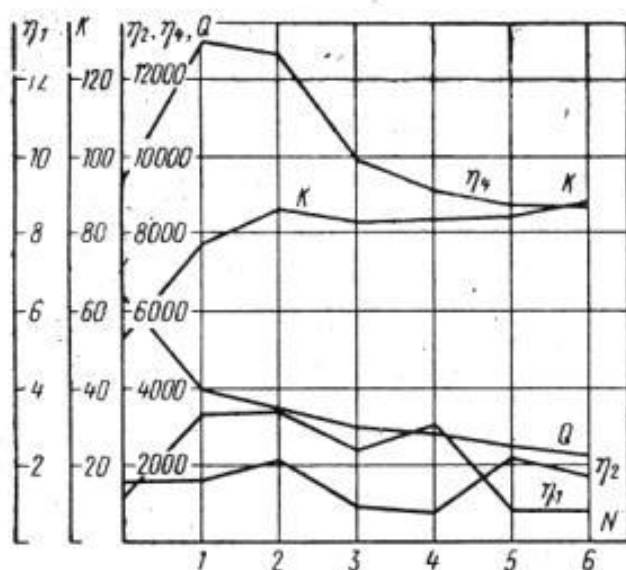


Рис. 7. Результаты оптимизации методом случайного поиска с шагом назад

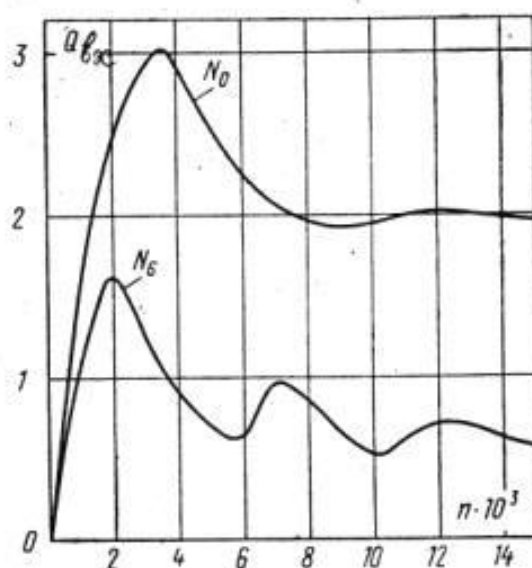


Рис. 8. График входной переменной величины до (N_0) и после (N_6) оптимизации методом случайного поиска с шагом назад

Учитывая, что такие задачи требуют больших затрат машинного времени, оптимизация параметров ИФАПЧ проводилась методом сокращенного счета, позволяющего при решении задач импульсного характера на ЦВМ уменьшить машинное время в 10 раз с сохранением точности расчетов [4].

Таблица 2

Результаты оптимизации параметров ИФАПЧ методом случайного поиска

Параметр	Номер шага						
	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
K	53,44	77,39	86,20	82,47	82,87	84,17	87,50
η_1	1,12	3,22	3,39	2,37	2,95	0,75	0,73
η_2	1555	1 540	2 195	849	731	2182	1665
η_4	9497	12 620	12 620	9897	9098	8632	8172
Q	6400	3 938	3 402	2934	2733	2371	2174

Выводы

1. Разработана методика, дающая возможность моделировать искажения раstra, вызываемые системами синхронизации. Это позволяет получить нормы на допустимые искажения раstra, обусловленные синхронизацией.

2. В процессе оптимизации происходит улучшение функции качества в 3—5 раз, что свидетельствует об эффективности применяемых методов оптимизации.

3. На основании анализа динамики процесса в системе ИФАПЧ с оптимизированными параметрами при возмущении «скачок частоты» следует, что на телевизионном растре появятся сдвиги строк. В соответствии с нормами первые две-три строки будут разрушены, далее процесс быстро нормализуется. Начиная с десятой строки ($n = 4000$), искажения растра зрительно ощущаться не будут.

4. Установившаяся ошибка в системах ИФАПЧ при оптимизированных параметрах примерно в три раза меньше, чем при неоптимизированных, для обоих методов оптимизации.

5. Оптимизация параметров систем ИФАПЧ, когда число варьируемых параметров не превышает 4, возможна как методом градиента, так и случайным методом с шагом назад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щелованов Л. Н. Системы синхронизации телевизионной аппаратуры. Л., ВКАС, 1962.

2. Щелованов Л. Н. [и др.]. Об одном методе подавления помех в видеосигнале. «Техника кино и телевидения», 1970, № 11, стр. 53.

3. Щелованов Л. Н. и Доронин Е. М. Алгоритмический метод расчета процессов в разомкнутых и замкнутых системах передачи изображений при произвольном воздействии. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. «Техника телевидения», 1970, вып. 3, стр. 3.

4. Щелованов Л. Н. [и др.]. Метод математического моделирования на ЦВМ переходных процессов в системе ИФАПЧ строчной синхронизации. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. «Техника телевидения», 1971, вып. 5, стр. 31.

5. Растрингин Л. А. Статистические методы поиска. М., «Наука», 1968.

6. Щелованов Л. Н. и Доронин Е. М. Алгоритмический метод анализа и синтеза видеоусилителей. «Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника», 1971, вып. 3, стр. 243.

Статья поступила 23 июля 1971 г.