

## НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ГРАДАЦІЙНОГО КОРЕКТУВАННЯ

(частина 1)

Лінійна система електронного градаційного коректування зі зворотним зв'язком розглянута в статті [1]. За рахунок впливу зворотного зв'язку подібна система може в певних межах здійснювати нелінійну трансформацію градаційної характеристики фотоформи. Проте відсутність у системі нелінійної ланки з заданою характеристикою функціонального перетворення не дозволяє регулювати її локально, тобто в кожній точці. В даній статті будуть розглянуті нелінійні системи електронного градаційного коректування, які, порівняно з лінійними, мають значно більші технологічні можливості.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Завдання градаційного коректування полягає у здійсненні такого фотографічного процесу, в якому експонування фотошару було б керованим і кількість світлової енергії, одержаної фотошаром, регулювалась в залежності від оптичної густини оригіналу. Для розв'язання цієї задачі необхідно в першу чергу визначити залежність  $\lg H_{\phi} = f(D_{op})$ , тобто дізнатись, які кількості експозиції  $H_{\phi}$  треба надати фотошарові в залежності від оптичної густини оригіналу, щоб одержати таку градаційну характеристику фотоформи, яка вимагається.

Будемо вважати, що задана характеристична крива фотошару  $D_{\phi} = f(\lg H_{\phi})$  і потрібна градаційна характеристика фотоформи  $D_{\phi} = f(D_{op})$ . Тоді шукану залежність  $\lg H_{\phi} = f(D_{op})$  можна одержати графічною побудовою, наведеною на рис. 1. Тут в квадранті I зображена характеристична крива фотошару  $D_{\phi} = f(\lg H_{\phi})$ , в квадранті II — потрібна градаційна характеристика фотозображення  $D_{\phi} = f(D_{op})$ ; шукана залежність  $\lg H_{\phi} = f(D_{op})$  побудована в квадранті IV по точках, одержаних на перетині ліній, які відповідають заданим значенням  $D_{\phi}$ ,  $D_{op}$  і  $\lg H_{\phi}$ .

В статті розглядаються системи, в яких аналізуючі і світломодуючі пристрої мають лінійні характеристики. Це означає, що а) сигнал на виході аналізуючого пристрою зв'язаний з величиною світлового потоку на його вході, а, отже, з величиною коефіцієнту пропускання (або відбиття) оригіналу лінійною залежністю; б) величина освітленості, яка забезпечується світлорегулюючим пристроєм на оригіналі, також зв'язана з керуючим сигналом на його вході лінійною залежністю.

Ці припущення цілком доречні, тому що в більшості випадків елементи, які використовуються для побудови світломодуючих та аналі-

зуючих пристроїв (електронно-променеві трубки, фотопомножувачі), мають у робочому діапазоні лінійні характеристики. Узагальнення одержаних результатів для випадку аналізуючих та світломодуючих пристроїв з характеристиками довільної форми не становить особливих труднощів.

Беручи до уваги розглянуті вище міркування відносно лінійності характеристик аналізуючого та світломодуючого пристроїв, для дальшого розгляду необхідно перетворити залежність  $\lg H_\phi = f(D_{op})$  таким

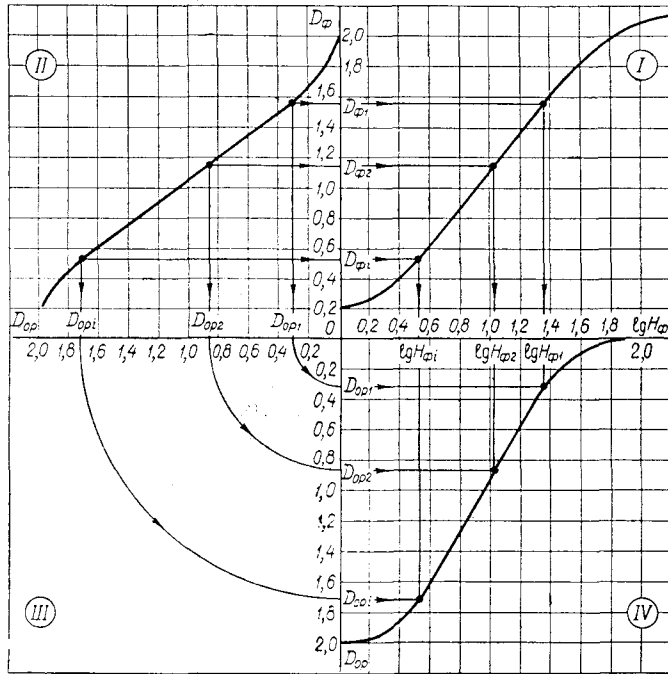


Рис. 1. Графічна побудова характеристики  $\lg H_\phi = f(D_{op})$ .

чином, щоб вона зв'язувала між собою не логарифмічні величини  $\lg H_\phi$  і  $D_{op} = -\lg \tau_{op}$ , а вихідні — освітленість оригіналу  $E_\phi$  та коефіцієнт пропускання (або відбиття) оригіналу  $\tau_{op}$  (або  $\rho_{op}$ ).

Надалі будем оперувати тільки величиною  $\tau_{op}$  і всі структурні схеми зображати для випадку роботи з прозорими оригіналами, беручи до уваги, що всі одержані результати справедливі також для систем, які працюють на відбиття.

Вказану трансформацію характеристики легко здійснити, бо  $D_{op} = -\lg \tau_{op}$  і  $\lg H_\phi = \lg E_\phi t$ .  
Звідси:

$$\tau_{op} = \text{anti } \lg (-D),$$

$$E_\phi = \frac{1}{t} \text{anti } \lg H_\phi,$$

або

$$E_\phi = c \text{anti } \lg H_\phi,$$

тому що  $t = \text{const} = \frac{1}{c}$  (час експонування кожної точки оригіналу постійний).

Отже, для одержання залежності  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$  необхідно для кожної точки характеристик  $I_g H_{\phi} = f(D_{op})$  визначити  $E_{\phi}$  і  $\tau_{op}$  і потім по точках побудувати потрібну характеристику в системі координат  $E_{\phi}$  і  $\tau_{op}$ . Одержана таким чином характеристика наведена на рис. 2.

При розрахунку для даного конкретного випадку прийнято  $C=1$ .

Розглянемо тепер деякі питання класифікації систем електронного коректування. Класифікувати подібні системи можна за багатьма ознаками — технологічними, конструктивними і т. д. Але відповідно до тих питань, які розглядаються в даній статті, нас буде цікавити тільки один вид класифікації — за принципом дії, бо принцип дії визначає структурну схему системи, отже і ту функціональну залежність, яку повинен відображати її моделюючий пристрій.

За принципом дії всі системи можна поділити на такі групи:

1) Системи з чисто електричною передачею зображення з оригіналу на фотошар;

2) Системи з фотографічною передачею зображення на фотошар без зворотного зв'язку по світлу;

3) Системи з фотографічною передачею зображення на фотошар із зворотним зв'язком по світлу.

При дальшому розгляді кожної системи нас буде цікавити, в основному, одне головне питання: визначення функціональної залежності, яку необхідно заложити в моделюючий пристрій, щоб на фотошарі з заданою характеристичною кривою одержати фотозображення з потрібною градаційною характеристикою.

Поряд з цим завданням виникає також і багато інших.

1. В зв'язку з тим, що для пристроїв функціонального перетворення властива певна похибка, виникає питання про допустимі значення цієї похибки.

Наприклад, похибка діючих функціональних перетворювачів, які ми вважаємо найбільш перспективними для даної мети, виникає через те, що функція апроксимується з тим або іншим ступенем наближення відрізками прямих ліній. Виникає питання — на яку мінімальну кількість відрізків і в яких точках розбити модельовану функцію, щоб, з одного боку, одержати задовільну градаційну характеристику фотозображення і в той же час мати моделюючий пристрій, досить простий, надійний і зручний щодо настроювання і регулювання.

2. Друге, також істотне питання, — це визначення таких границь регулювання форми кривої функціонального перетворення, які б відповідали усім випадкам, що зустрічаються в практиці і в той же час не були зайвими.

3. Можна вказати ще на ряд питань, що виникають при розробці подібних систем, наприклад, вимоги до частотних характеристик елементів схеми, забезпечення мінімальних апертурних спотворень і т. д.

Однак ці питання в статті не розглядаються, тому що частина з них (пункти 1 і 2) вимагають значного об'єму технологічних досліджень і можуть бути об'єктом спеціальних досліджень, частина (пункт 3) розглянута в багатьох роботах з фототелеграфії та телебачення [2, 3], де застосовується аналогічна розгортка оригіналу з наступним відтворенням вторинного зображення на екрані електроннопроменевої трубки (телебачення) або на спеціальних матеріалах (фототелеграфія).

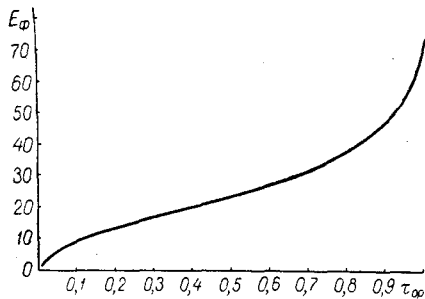


Рис. 2. Залежність  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$ .

## 2. СИСТЕМА ГРАДАЦІЙНОГО КОРЕКТУВАННЯ З ЧИСТО ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ЗОБРАЖЕННЯ З ОРИГІНАЛУ НА ФОТОШАР

До систем з суто електричною передачею зображення належать системи типу «Тайм-Лайф» [3], «Колорограф» [4], система електронного коректування, розроблена у ВНДІПП та багато інших. Системи телевізійної передачі зображення, фототелеграфні системи та гравірувальні автомати фактично також належать до цього класу.

Структурна схема подібної системи зображена на рис. 3. Система діє таким чином. Оригінал 2 розгортається рухомих джерелом світла 1. Світловий потік, що проходить через оригінал

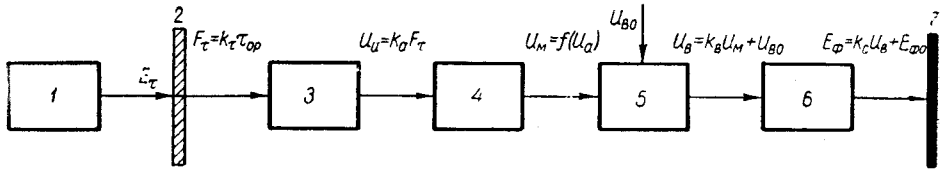


Рис. 3. Структурна схема системи градаційного коректування з чисто електричною передачею зображення на фотошар.

1 — джерело світла; 2 — оригінал; 3 — аналізуючий пристрій; 4 — моделюючий пристрій; 5 — вихідний блок; 6 — світломодуючий пристрій; 7 — фотошар.

$$F_{\tau} = k_{\tau} \tau_{op} E_{\tau} \quad (1)$$

( $k_{\tau}$  — коефіцієнт пропорційності, який залежить від параметрів оптичної системи та освітленості  $E_{\tau}$ , що утворюється на оригіналі джерелом світла 1), сприймається світлочутливим приймачем аналізуючого пристрою 3, на виході якого одержують електричний сигнал

$$U_a = k_a F_{\tau} \quad (2)$$

( $k_a$  — коефіцієнт пропорційності, що визначається чутливістю фотоелектричного приймача та коефіцієнтом підсилення підсилюючих каскадів аналізуючого пристрою, якщо вони входять до його складу).

Далі сигнал  $U_a$  надходить до моделюючого пристрою (схеми функціонального перетворення) 4, який моделює функцію, необхідну для одержання потрібної градаційної характеристики зображення на фотошарі 7.

Напруга  $U_m$  далі надходить до вихідного пристрою, який здійснює підсилення сигналу (якщо це необхідно) або в загальному випадку масштабне перетворення, необхідне для того, щоб умістити керуючий сигнал в робочий діапазон модуляційної характеристики світломодуючого пристрою:

$$U_B = k_B U_m + U_{B0} \quad (3)$$

Постійна регульована складова сигналу  $U_B$  (напруга  $U_{B0}$ ) служить для регулювання місця розташування робочої точки на модуляційній характеристиці.

Характеристика світломодуючого пристрою 6 описується таким рівнянням:

$$E_{\phi} = k_c U_B + E_{\phi0} \quad (4)$$

де  $E_{\phi}$  — освітленість фотошару;

$k_c$  — коефіцієнт пропорційності, який визначається параметрами світломодуючого пристрою та оптичної системи пристрою запису зображення;

$E_{\phi0}$  — постійна складова (значення  $E_{\phi}$  при  $U_B = 0$ ).

Слід зауважити, що це рівняння справедливе в певному діапазоні змін  $E_{\phi}$ .

Визначення шуканої кривої функціонального перетворення  $U_m = f(U_a)$  моделюючого пристрою можна вважати виконаним, якщо будуть задані координати  $U_{ai}$  і  $U_{mi}$  кожної точки. Якщо відома раніше визначена нами залежність  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$ , то визначення шуканих координат  $U_{ai}$  і  $U_{mi}$  можна провести таким чином: використавши рівняння (1) і (2), визначаємо значення  $U_{ai}$ , яке відповідає певному значенню  $\tau_{opi}$ :

$$U_{ai} = k_a F_{\tau i} = k_a k_{\tau} \tau_{opi}. \quad (5)$$

В той же час з рівнянь (3) і (4) випливає:

$$U_{mi} = \frac{U_{\phi i} - U_{\phi 0}}{k_b}; \quad U_{\phi i} = \frac{E_{\phi i} - E_{\phi 0}}{k_c}.$$

Звідси

$$U_{mi} = \frac{E_{\phi i} - (E_{\phi 0} + k_c U_{\phi 0})}{k_c k_b}. \quad (6)$$

Таким чином, в загальному вигляді задача розв'язана. Маючи в своєму розпорядженні залежність  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$  та знаючи параметри окремих ланок системи ( $k_a$ ,  $k_{\tau}$ ,  $k_b$ ,  $k_c$ ,  $U_{\phi 0}$ ,  $E_{\phi 0}$ ), можна з використанням співвідношення (5) і (6) розрахувати по точках криву функціонального перетворення.

Розглянемо коротко питання вибору параметрів та взаємної ув'язки характеристик окремих ланок між собою.

1. Вибір масштабу вхідної напруги моделюючого пристрою.

Вхідною напругою моделюючого пристрою є  $U_a$ . З співвідношення (5) виходить, що масштаб напруги  $U_a$  визначається коефіцієнтами  $k_a$  і  $k_{\tau}$ . Коефіцієнт  $k_{\tau}$  залежить від конструкції оптичної системи аналізуючого пристрою і може вважатися для кожної конкретної системи постійною величиною, коефіцієнт  $k_a$  величина регульована, тому задавати масштаб вхідної напруги  $U_a$  зручніше шляхом вибору відповідного значення  $k_a$ . Максимальне значення вхідної напруги буде при  $\tau_{op} = \tau_{op \max} = 1$ , тобто

$$U_{a \max} = k_a k_{\tau}. \quad (7)$$

Якщо  $U_{a \max}$  і  $k_{\tau}$  задані, то з цього виразу можна визначити значення  $k_a$ , при якому рівень вхідного сигналу в будь-якому випадку не буде перевищувати  $U_{a \max}$ .

$$k_a = \frac{U_{a \max}}{k_{\tau}}. \quad (8)$$

Наприклад, діодні функціональні перетворювачі (ФП), як правило, працюють у діапазоні вхідних сигналів 0—100 в. При використанні цих ФП  $U_{a \max} = 100$ ;  $k_a = \frac{100}{k_{\tau}}$ .

2. Вибір масштабу вихідної напруги моделюючого пристрою.

Вихідною напругою моделюючого пристрою є  $U_m$ . З співвідношення (6) виходить, що масштаб напруги  $U_m$  визначається коефіцієнтами  $k_c$  і  $k_b$ . Коефіцієнт  $k_c$  заданий: він визначається параметрами світло-оптичної системи запису зображення та світломодулюючого пристрою. Тому масштаб напруги  $U_m$  задається регульованим коефіцієнтом  $k_b$ . Сума  $E_{\phi 0} + k_c U_{\phi 0}$  в рівнянні (6) є постійною складовою, яка зсуває характеристику  $U_m = f(U_a)$  вздовж вертикальної осі.

Доцільно обрати параметри  $E_{\phi 0}$ ,  $U_{\phi 0}$  і  $k_c$  так, щоб ця постійна складова дорівнювала нулю. При такому виборі характеристика функ-

ціонального перетворення  $U_m = f(U_a)$  буде завжди знаходитись в першому квадранті, оскільки  $E_{\phi} > 0$ . Отже:

$$E_{\phi 0} + k_c U_{a0} = 0. \quad (9)$$

Оскільки величини  $E_{\phi 0}$  і  $k_c$  задані, це рівняння може бути використане для визначення  $U_{a0}$ :

$$U_{a0} = -\frac{E_{\phi 0}}{k_c}. \quad (10)$$

При такому виборі:

$$U_{mi} = \frac{E_{\phi i}}{k_c k_s}. \quad (11)$$

При заданих значеннях  $E_{\phi \max}$  і  $U_{m \max}$  необхідне значення коефіцієнта  $k_s$  буде:

$$k_s = \frac{E_{\phi \max}}{k_c U_{m \max}} \quad (12)$$

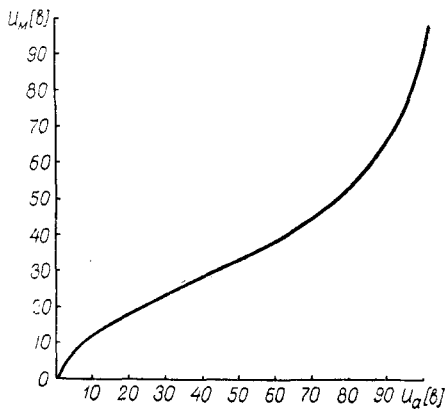


Рис. 4. Розрахована залежність  $U_m = f(U_a)$ .

3. Розглянемо конкретний приклад.

Вважаємо, що нам задані:

а) характеристика  $E_{\phi} f(\tau_{op})$  (див. рис. 2);

б) параметри системи:

$$k_r = 1,0;$$

$$k_c = 1,0;$$

$$E_{\phi} = 100 \text{ лк.}$$

Припустимо, що в системі використано діодні ФІІ, тоді

$$U_{a \max} = 100 \text{ в.} \quad U_{m \max} = 100 \text{ в.}$$

За характеристиками  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$  визначаємо:

$$E_{\phi \max} = 70,7 \text{ лк.}$$

$$\text{Визначаємо } k_a = \frac{U_{a \max}}{k_r} = 100.$$

$$\text{Знаходимо } U_{a0} = -\frac{E_{\phi 0}}{k_c} = -100 \text{ в.}$$

$$\text{Обчислюємо } k_s = \frac{E_{\phi \max}}{k_c U_{m \max}} = \frac{70,7}{100} = 0,707.$$

Після цього можна розрахувати криву функціонального перетворення за остаточним рівнянням:

$$U_{ai} = 100 \tau_{opi};$$

$$U_{mi} = \frac{E_{\phi i}}{0,707} = 1,41 E_{\phi i}.$$

Розрахована крива зображена на рис. 4. Вона повторює залежність  $E_{\phi} = f(\tau_{op})$  тільки в іншому масштабі координат.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Г. Г. Лебедь, Д. А. Назаров. Анализ процесса электронного градиционного маскирования в корректирующих устройствах с обратной связью по свету. Сб. «Полиграфия и издательское дело», вып. 1, изд. Львовского ун-та, Львов, 1964, 63.

2. Е. Л. Орловский. Теоретические основы фототелеграфирования. Связь-издат, М., 1957.
3. Е. Л. Орловский, А. М. Халфин и др. Теоретические основы электронной передачи изобретений. «Советское радио», М., 1964.
4. J. Marcus. Electronics, 1953, 26, N 5, 138.
5. H. Brohold. Fachhefte, 1965, N 1, 67.

*G. G. LEBED, D. A. NASAROV*

## **NON-LINEAR SYSTEMS OF ELECTRONIC GRADATION CORRECTION**

### **S u m m a r y**

The structure of three possible varieties of electronic correction with non-linear link is considered. The graphoanalytical method of defining the functional characteristics of non-linear link, which secure the achieving of photoforms with a predetermined gradation characteristics, is proposed.

---