

М. В. ЛАУФЕР

АНАЛІЗ КОЛИВАНЬ ШВИДКОСТІ В СИСТЕМІ ЗАПИС — ВІДТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ

При вивченні спотворень, що їх завдає апаратура запису та відтворення сигналів, важливе значення має вплив коливання швидкості носія запису, або сигналограми, на відтворюваний сигнал [1].

Нехай сигнал, що записується, має вигляд функції часу.

$$Y_3 = f(t_3). \quad (1)$$

В процесі запису здійснюється перехід від біжучої координати часу t_3 в бєжучу координату віддалі x .

Візьмемо вираз для швидкості

$$V_3 = \frac{dx}{dt_3}, \quad (2)$$

де

$$V_3 = V_{03} \pm \Delta V_3(t_3) + V_{\sim 3}(t_3); \quad (3)$$

V_{03} — номінальна (середня швидкість);

$\Delta V_3(t_3)$ — приріст (дрейф) швидкості;

$V_{\sim 3}(t_3)$ — коливання швидкості.

Приріст швидкості — відносно повільні коливання швидкості (в інтервалі часу понад 5 сек).

Із співвідношення (2) з врахуванням (3) одержуємо

$$t_3 = \int_0^x \frac{dx}{V_3} = \int_0^x \frac{dx}{V_{03} \pm \Delta V_3(t_3) + V_{\sim 3}(t_3)}. \quad (4)$$

Таким чином,

$$Y_3 = f\left(\int_0^x \frac{dx}{V_{03} \pm \Delta V_3(t_3) + V_{\sim 3}(t_3)}\right). \quad (5)$$

Сигнал, що відтворюється, можна розглядати як процес переходу від x до t і зобразити у формі

$$Y_B = k_B f\left(\int_0^t \frac{V_{0B} \pm \Delta V_B(t) + V_{\sim B}(t)}{V_{03} \pm \Delta V_3(t_3) + V_{\sim 3}(t_3)} dt\right), \quad (6)$$

де

$$t_3 \approx \frac{V_{0B}}{V_{03}} t = nt;$$

k_B — постійна перетворення сигналу в лінійній системі запис — відтворення.

Якщо допустити рівність миттєвих значень швидкостей при запису та відтворенні

$$V_{0B} \pm \Delta V_B(t) + V_{\sim B}(t) = V_{03} \pm \Delta V_3(t_3) + V_{\sim 3}(t_3), \quad (7)$$

одержимо

$$V_{0B} = V_{03} = V_0; \quad (8)$$

$$\Delta V_B(t) = \Delta V_3(t); \quad (9)$$

$$V_{\sim B}(t) = V_{\sim 3}(t). \quad (10)$$

У цих умовах відтворюваний сигнал залишиться неспотвореним. Відповідно до цього одержимо

$$Y_B = k_B f(t). \quad (11)$$

В ідеальному випадку для збереження масштабу часу у відтворюваному сигналі потрібно забезпечити: рівність номінальних компонент швидкостей, рівність приростів швидкостей, рівність миттєвих значень коливань швидкості при запису і відтворенні сигналів.

Розглянемо загальний випадок, коли не виконується вимога неспотвореного відтворення сигналів. Нехай

$$V_{0B} = V_{03} = V_0.$$

Позначимо

$$F(t) = \frac{V_0 \pm \Delta V_B(t) + V_{\sim B}(t)}{V_0 \pm \Delta V_3(t) + V_{\sim 3}(t)} = \frac{1 \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_0}}{1 \pm \frac{\Delta V_3(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim 3}(t)}{V_0}}, \quad (12)$$

де $F(t)$ має зміст функції масштабу часу.

Зобразимо функцію масштабу часу у вигляді ряду

$$F(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \left[\pm \frac{\Delta V_3(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim 3}(t)}{V_0} \right]^{n-1} \times \\ \times \left[1 \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_0} \right]. \quad (13)$$

Припустимо,

$$\left| \frac{\Delta V(t)}{V_0} \right| \ll 1 \text{ та } \left| \frac{V_{\sim}(t)}{V_0} \right| \ll 1.$$

Таким чином, можна обмежитись тільки членами ряду, які є величинами малості першого порядку, тобто

$$F(t) = 1 \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_0} \mp \frac{\Delta V_3(t)}{V_0} - \frac{V_{\sim 3}(t)}{V_0}. \quad (14)$$

Отже, при невеликих коливаннях сумісна дія коливань швидкості на функцію масштабу часу визначається алгебраїчною різницею коливань і прискорень швидкості при відтворенні і запису.

Розглянемо випадок транспонування спектра частот сигналів, коли $V_{0B} \neq V_{03}$. Функція масштабу часу має вигляд

$$F(t) = \frac{V_{0B}}{V_{03}} \cdot \frac{1 \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_{0B}} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_{0B}}}{1 \pm \frac{\Delta V_3(t_3)}{V_{03}} + \frac{V_{\sim 3}(t_3)}{V_{03}}} \quad (15)$$

Якщо прийняти

$$\left| \frac{\Delta V_3(t_3)}{V_{03}} \right| \ll 1 \text{ та } \left| \frac{V_{\sim 3}(t_3)}{V_{03}} \right| \ll 1,$$

одержимо

$$F(t) = \frac{V_{0B}}{V_{03}} \left(1 \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_{0B}} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_{0B}} \mp \frac{\Delta V_3(t_3)}{V_{03}} - \frac{V_{\sim 3}(t_3)}{V_{03}} \right) \quad (16)$$

Важливим слід вважати положення, що є висновком виразу (16): спотворення масштабу часу можна уникнути, якщо буде забезпечена рівність виразу в дужках одиниці. У цьому випадку маємо лінійну зміну масштабу часу

$$F(t) = \frac{V_{0B}}{V_{03}} = n.$$

Отже, масштаб часу є величина, що характеризує транспонування спектра частот сигналів і дорівнює коефіцієнту транспонування.

Розглянемо випадок, коли сигнал, що записується, має характер гармонічної функції. Запишемо

$$Y_B = k_B Y_T \sin \left[\omega_{03} \int_0^t F(t) dt \right] \quad (17)$$

Знаходимо миттєву частоту відтворюваного сигналу

$$\omega_B = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_{03} \frac{d \left[\int_0^t F(t) dt \right]}{dt} = \omega_{03} F(t) \quad (18)$$

Таким чином, після підстановки (16) в (18) одержуємо для миттєвої частоти вираз

$$f_B = f_{0B} \pm \frac{\Delta V_B(t)}{V_{0B}} f_{0B} + \frac{V_{\sim B}(t)}{V_{0B}} f_{0B} \pm \frac{\Delta V_3(t_3)}{V_{03}} f_{0B} - \frac{V_{\sim 3}(t_3)}{V_{03}} f_{0B} \quad (19)$$

де

$$f_{0B} = \frac{V_{0B}}{V_{03}} f_{03} = n f_{03}$$

Спотворення функції масштабу часу приводить до виникнення частотної модуляції записаного сигналу компонентами швидкостей.

Якщо вважати, що абсолютні значення приростів та коливань швидкостей при запису та відтворенні однакові, знаходимо, що найбільш небезпечний той апарат, в якому номінальна швидкість менша.

Розглянемо випадок запису частотно-модульованого сигналу. Візьмемо

$$Y_s = Y_T \sin [\omega_0 t + \varphi(t)]. \quad (20)$$

При відтворенні з урахуванням коливання швидкості

$$Y_B = k_B Y_T \sin \left\{ \omega_0 \int_0^t F(t) dt + \varphi \left[\int_0^t F(t) dt \right] \right\}. \quad (21)$$

Відповідно до (18) знайдемо миттєву частоту відтворюваного сигналу

$$\omega_B = \omega_0 F(t) + \frac{d \left\{ \varphi \left[\int_0^t F(t) dt \right] \right\}}{dt}. \quad (22)$$

Розкриття виразу (22) можливе тільки при певних функціональних залежностях від часу $F(t)$ та $\varphi(t)$. Очевидно, що спектр відтворюваного сигналу матиме значно більше складових, ніж при запису гармонічного сигналу.

Розглянемо випадок запису сигналу з багаторазовим його перезаписом. У загальному випадку запишемо вираз для відтворюваного сигналу у вигляді

$$Y_{B0} = \prod_1^i k_i \varphi_{B0} \left(\int_0^t \prod_1^i \frac{V_{B1}}{V_{S1}} dt \right), \quad (23)$$

де

$$\prod_1^i \frac{V_{B1}}{V_{S1}} = \frac{V_{B1}}{V_{S1}} \cdot \frac{V_{B2}}{V_{S2}} \cdot \frac{V_{B3}}{V_{S3}} \dots \frac{V_{Bk}}{V_{Sk}}. \quad (24)$$

Якщо для скорочення прийняти $V_{0B1} = V_{0S1}$, тоді

$$\prod_1^i \frac{V_{B1}}{V_{S1}} = \frac{1 \pm \frac{\Delta V_{B1}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B1}(t)}{V_0}}{1 \pm \frac{\Delta V_{S1}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim S1}(t)}{V_0}} \cdot \frac{1 \pm \frac{\Delta V_{B2}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B2}(t)}{V_0}}{1 \pm \frac{\Delta V_{S2}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim S2}(t)}{V_0}} \dots \quad (25)$$

Приймаємо, як і раніше, відносно невеликі прирости та коливання швидкості, тоді відповідно одержуємо

$$\prod_1^i \frac{V_{B1}}{V_{S1}} = \sum_1^i \left[\left(1 \pm \frac{\Delta V_{B1}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim B1}(t)}{V_0} \right) - \left(\pm \frac{\Delta V_{S1}(t)}{V_0} + \frac{V_{\sim S1}(t)}{V_0} \right) \right]. \quad (26)$$

Таким чином, при багаторазовому перезапису результуюче спотворення масштабу часу визначається алгебраїчною різницею приростів та миттєвих значень швидкостей усіх процесів у системах відтворення та в системах запису.

Умову збереження неспотвореного масштабу часу запишемо у вигляді

$$\prod_1^i \frac{V_{bi}}{V_{si}} = 1 \text{ або } \prod_1^i V_{bi} = \prod_1^i V_{si}. \quad (27)$$

З викладеного ясно, що для збереження неспотвореного масштабу часу потрібно під час багаторазового перезапису при кожному процесі відтворення компенсувати спотворення масштабу часу, викликане процесом запису, що був перед цим.

Розглянемо можливість компенсації коливань швидкості в апараті запису та відтворення.

Нехай швидкість при запису змінюється за законом

$$V_3(t) = \sum_1^k V_{m3k} \cos(\Omega_{3k}t + \varphi_{3k}), \quad (28)$$

де V_{m3k} — амплітуда коливань швидкості k -ї складової;

$$\Omega_{3k} = 2\pi f_{3mk};$$

f_{3mk} — частота коливань k -ї складової швидкості;

φ_{3k} — фазовий кут k -ї складової швидкості.

Відповідно можна зобразити періодичні коливання швидкості при відтворенні

$$V_b(t) = \sum_1^k V_{mbk} \cos(\Omega_{bk}t + \varphi_{bk} + \alpha_k), \quad (29)$$

де α_k — зсув фаз між k -ми складовими швидкості при відтворенні і запису.

Якщо запис та відтворення виконуються на одному апараті і $\alpha_k = 0$, одержуємо $V_3(t) = V_b(t)$, тобто задовольняється умова неспотвореного масштабу часу. Ця умова виконується, коли фази всіх складових коливань швидкості дорівнюють відповідним фазам під час запису.

Таким чином, у залежності від лінійного зсуву сигналорами, при зарядці в касету при відтворенні відносно механічного тракту апарата, можливі різні величини спотворення сигналу від нуля до максимального значення. Якщо запис та відтворення провадяться на різних апаратах, відтворення сигналу без спотворення неможливе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лауфер М. В., Периодические колебания скорости движения фонограмм и некоторые методы измерения коэффициента неравномерности, Труды Киевского института киноинженеров, вып. 2, 1954.

M. V. LAUFER
ANALYSE OF OSCILLATIONS
OF VELOCITY ON THE TIME SCALE FUNCTION

S u m m a r y

The author considers the effect of velocity oscillations on the time scale function during recording, reproducing and rerecording signals.