

Т. П. ПЕТРУЧЕК, канд. техн. наук

**О ЗАВИСИМОСТИ ОСТАТОЧНОГО ЗАТУХАНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ
ОТ РАСХОЖДЕНИЯ ЧАСТОТ ПЕРЕНОСЧИКОВ
В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ**

Известно [1], что основу современной сети связи составляют многоканальные системы передачи с частотным разделением каналов (МСПЧРК) и коммутационное оборудование. Также известно [2], что в настоящее время требования к качеству каналов связи предусматривают минимум искажений сигнала, а также высокую стабильность во времени характеристик и параметров канала связи. Ниже рассматриваются некоторые из возможных причин искажений, обусловленных асинхронизмом генераторов в МСПЧРК, влияющих на качество каналов связи.

Допустим по аналогии с [3], что в МСПЧРК осуществляется передача информации от станции А до станции Б. В этом случае на станции А от генераторного оборудования потребуется для l -го канала соответствующий переносчик канального сигнала [4]. Пусть $f(t)$ — исходный сигнал, подлежащий передаче и пусть

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega,$$

где

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt —$$

функция спектральной плотности сигнала $f(t)$.

На выходе системы передачи, имеющей коэффициент передачи, равный

$$K(\omega) = e^{-a(\omega) - i\varphi(\omega) - i\psi_0}$$

сигнал будет иметь следующий вид:

$$U_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \cdot K(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega,$$

где $a(\omega)$ — амплитудно-частотная характеристика L -го канала связи при равенстве частот генераторов станции А и станции Б $\omega_L = \omega_q$, $\varphi(\omega)$ — фазочастотная характеристика L -го канала связи, φ_0 — начальная фаза исходного сигнала при нулевой частоте. Тогда, положив $\Delta\omega = \omega_L - \omega_q$ получим

$$K(\omega) = e^{-a(\omega) - i\varphi(\omega) - i\varphi_0 - i\varphi(\Delta\omega)}$$

Допустим также, что $\varphi(\omega) = \omega t_p + \Delta\varphi(\omega)$, где ωt_p — линейная составляющая фазочастотной характеристики канала связи, соответствующая задержке всех составляющих сигнала на величину t_p ; $\Delta\varphi(\omega)$ — величина, определяющая степень и характер отклонения фазочастотной характеристики от линейного закона.

Так как нас интересуют искажения формы выходного сигнала, определяемые только лишь расхождением частот генераторов, то можно принять

$$e^{-a(\omega)} = 1; e^{-(\omega t_p + \varphi_0)} = \text{const}, e^{-\Delta\varphi(\omega)} = 1.$$

С учетом сказанного сигнал на выходе канала связи, вносящего фазовые искажения, будет иметь вид

$$U_{\text{вых}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega(t-t_p) - i\varphi_0 - i\varphi(\Delta\omega)} d\omega.$$

Частные случаи решения этого интеграла были найдены в [6], где показано, что при наличии плавных отклонений частоты ведомого генератора относительно частоты ведущего генератора (т. е. величины $\Delta\omega t$) наблюдается понижение крутизны нарастания амплитуды сигнала и появление «всплесков», достигающих 25 % от амплитуды основного сигнала [5; 6].

В случае применения в монохроматических колебаниях в МСП ЧРК переносчик называют несущим колебанием канального сигнала, который записывается следующим образом: $U_L(t) = U_m \cos(\omega_L t + \varphi_L)$ (6), где $U_L(t)$ — напряжение сигнала L -го несущего колебания; U_m — амплитуда сигнала несущего колебания; ω_L — круговая частота несущего колебания L -го канального сигнала; φ_L — начальная фаза L -го несущего колебания.

Обычно в МСП ЧРК передача информации осуществляется на одной из боковых частот с подавлением несущей (ОБП—ПН) [7], — тогда передаваемый сигнал $S(t)$ имеет вид

$$S(t) = f(t) \cos(\omega_L t + \varphi_L) \pm f_h(t) \sin(\omega_L t + \varphi_L),$$

где $f(t)$, как и ранее, исходный сигнал, подлежащий передаче; $f_h(t)$ — преобразование Гильберта для сигнала $f(t)$. Здесь знак плюс соответствует сигналу с нижней боковой полосой, а знак минус — сигналу с верхней боковой полосой частот.

В асинхронных МСПЧРК для демодуляции канального сигнала используется колебание местной несущей, имеющей вид аналогичный

(4): $U_q(t) = U_m \cos(\omega_q t + \varphi_q)$. Вводим $\varphi_L - \varphi_q = \Delta\varphi$ и, учитывая, что $\omega_q = \omega_L + \Delta\omega$, получаем $U_q(t) = U_m \cos[(\omega_L + \Delta\omega)t + \Delta\varphi]$. Согласно работе [4] демодуляцию канального сигнала, проходящего в виде ОБП—ПН на станцию В, можно осуществить перемножением входного сигнала $S(t)$ и местной несущей $U_q(t)$ с последующей фильтрацией низкочастотной составляющей. Для однополосного сигнала с нижней боковой полосой получим

$$\begin{aligned} U_r(t) &= U_k(t) \cdot S(t) = U_m \cos[(\omega_L + \Delta\omega)t + \Delta\varphi] \times \\ &\times [f(t) \cos \omega_L t + f_h(t) \sin \omega_L t] = \frac{U_m}{2} f(t) [\cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) + \\ &+ \cos(2\omega_L t + \Delta\omega t + \Delta\varphi)] - \frac{U_m}{2} f_h(t) [\sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi) - \\ &- \sin(2\omega_L t + \Delta\omega t + \Delta\varphi)] = \frac{U_m}{2} [f(t) \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) - \\ &- f_h(t) \sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi)] + \frac{U_m}{2} [f(t) \cos(2\omega_L t + \Delta\omega t + \Delta\varphi) + \\ &+ f_h(t) \sin(2\omega_L t + \Delta\omega t + \Delta\varphi)], \end{aligned}$$

где $U_0(t)$ — напряжение на выходе демодулятора.

Слагаемые с частотами $2\omega_L + \Delta\omega$ отфильтровываются фильтром нижних частот (ФНЧ), в результате на выходе ФНЧ будем иметь (при $U_m = 1$)

$$U_0(t) = \frac{f(t)}{2} \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi) - \frac{f_h(t)}{2} \sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi).$$

Как видно из (11) сигнал на выходе асинхронного демодулятора не является точной копией исходного сигнала: он искажен и периодически меняется во времени.

Известно [4], что для рассматриваемого канала выходной сигнал можно представить как $U_0(t) = |K(\omega)| \cdot f(t)$ (12), где $|K(\omega)|$ — действительная часть коэффициента передачи рассматриваемого канала. Тогда, с учетом (11, 12) получим:

$$K(\omega) = \frac{\cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi)}{2} - \frac{f_h(t) \sin(\Delta\omega t + \Delta\varphi)}{2f(t)}.$$

Очевидно, что при $\Delta\omega \neq 0$ результирующий коэффициент передачи канала зависит от величины набега $\Delta\omega t$ и непостоянен во времени, т. е. не удовлетворяет условиям неискаженной передачи [4]. Анализируя (13), можно сделать вывод, что в асинхронных системах передачи канал связи превращается в синтезатор, который из исходного сигнала формирует выходной сигнал и при этом учитывает расхождение частот переносчиков в системе передачи. Следует также отметить, что в асинхронных системах связи два задающих генератора, вырабатывающие сигналы несущих частот, обычно некогерентны и территориально удалены друг от друга на значительное расстояние. Следовательно $\Delta\omega$ и $K(\omega)$ являются случайными функциями времени и их поведение предсказать невозможно. По-видимому, этим можно объяснить появление внезапных изменений затухания в канале или тракте, о которых упоминается, напри-

мер, в работах [5; 6]. Следует отметить, что с повышением абсолютной точности установки несущих частот, т. е. при $\Delta\omega \rightarrow 0$, изменения коэффициента передачи канала становятся более медленными, однако динамический диапазон этих изменений остается прежним и они остаются заметными со временем даже при очень малых значениях

Допустим теперь, что $\Delta\omega = 0$, тогда получим

$$K(\omega) = \frac{\cos \Delta\varphi}{2} \left[1 - \frac{f_h(t)}{f(t)} \cdot \operatorname{tg} \Delta\varphi \right] \quad (14)$$

В этом случае при $\Delta\varphi = \operatorname{const}$ получим фиксированные значения коэффициента передачи, причем $K(\omega) = \frac{1}{2}$ при $\Delta\varphi = k\pi$ и

$$K(\omega) = -\frac{1}{2} \frac{f_h(t)}{f(t)}$$

при $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}(2n \mp 1)$ (здесь $n = 0, 1, 2, 3 \dots$).

Как видно из вышесказанного, только при выполнении условий $\Delta\omega = 0$ и $\Delta\varphi = \operatorname{const}$, т. е. при обеспечении синхронной демодуляции сигналов коэффициент передачи канала не будет зависеть от времени, и будет удовлетворять условиям неискаженной передачи.

Характерно, что реализация аналогичных требований в цифровых системах передачи позволила обеспечить высокую стабильность характеристик канала [6], но в этом случае требование $\Delta\omega = 0$ породило тактовую синхронизацию генераторов, а требование $\Delta\varphi = \operatorname{const}$ привело к необходимости создания цикловой синхронизации генераторов [5].

Следовательно, принудительная синхронизация генераторного оборудования многоканальных систем передачи является одним из радикальных средств повышения стабильности параметров и характеристик каналов связи как в аналоговых, так и в цифровых системах передачи.

Итак, при синхронной демодуляции колебаний вида ОБП—ПН сигнал на выходе асинхронного демодулятора не является точной копией исходного сигнала; он искажен и меняется во времени.

При несовпадении частот, участвовавших в процессах модуляции и демодуляции канального сигнала, результирующий коэффициент передачи канала зависит от величины набега $\Delta\omega t + \Delta\varphi$ и непостоянен во времени, т. е. не удовлетворяет условиям неискаженной передачи.

С повышением абсолютной точности установки несущих частот изменения коэффициента передачи канала становятся более медленными, однако их динамический диапазон остается неизменным.

В несинхронных системах передачи канал связи превращается в синтезатор, который из исходного входного сигнала формирует выходной сигнал с учетом асинхронизма в системе передачи.

При обеспечении синхронной демодуляции сигналов коэффициент передачи канала не зависит от времени и удовлетворяет условиям неискаженной передачи.

Принудительная синхронизация генераторного оборудования многоканальных систем передачи является одним из радикальных средств повышения стабильности параметров и характеристик каналов связи.

Список литературы: 1. Романов В. Д. Цифровые системы многоканальной связи и пути их развития // Итоги науки и техники. 1977. Т. 8. С. 110. 2. Нормы на электрические параметры каналов токовой частоты магистральных и внутризоновых первичных сетей. М., 1984. 98 с. 3. Зюко А. Г., Коробов Ю. Ю. Теория передачи сигналов. М., 1982. 280 с. 4. Лев Ю. А. Теоретические основы многоканальной связи. М., 1978. 190 с. 5. Бомштейн Б. Д., Бурда Л. Я., Фарбер Ю. Д. Качественные показатели каналов и трактов ВЧ систем передачи. М., 1972. 208 с. 6. Латхин Б. П. Системы передачи информации. М., 1971. 320 с. 7. Некоторые результаты внедрения ЦСП. Итоги науч.-техн. конф. в Вильнюсе // Электросвязь. 1986. № 5. С. 62—66.

Поступила в редколлегию 14.05.90