

В технике проводной связи находят все большее применение дуплексные усилители мостового типа, выполненные на отрицательных сопротивлениях [1]. В настоящее время такие усилители используются преимущественно на городских и пригородных телефонных сетях. Их можно применять в каналах телемеханики, а также для организации прямых низкочастотных каналов связи на дальние расстояния подобно усилителям с дифференциальными системами. Имеется некоторый опыт использования мостовых усилителей в групповых каналах связи на кабельных линиях железнодорожного транспорта [2]. Одним из наиболее важных качественных показателей канала связи является его устойчивость. При проектировании и настройке канала связи с дуплексными усилителями количественно устойчивость канала связи характеризуется запасом устойчивости усилителей.

Устойчивости мостовых усилителей посвящено немало работ, в частности, [3], где устойчивость максимально допустимого усиления обосновывается теоретически. Практическая реализация полученных решений вызывает ряд затруднений — прежде всего определение коэффициентов несогласованности и характеристических параметров усилителя.

В настоящее время хорошо разработана и широко применяется методика расчета запаса устойчивости каналов связи с дифференциальными системами, в том числе и дуплексных усилителей с дифференциальными системами [4]. Эта методика вполне приемлема для расчета запаса устойчивости мостовых усилителей. Однако для этого необходимо иметь значения затухания несогласованности между входными сопротивлениями усилителя и участками проводной линии, включенными в качестве нагрузки на его входе и на выходе.

Определение затухания несогласованности с помощью измерений известными методами из техники измерений в проводной связи сопряжено с некоторыми трудностями — введение элементов измерительной аппаратуры в канал с мостовым усилителем может привести к нарушению устойчивости усилителя. В данной работе предлагается методика определения затухания несогласованности по результатам настройки усилителя в канале связи.

Рассмотрим наиболее характерные случаи включения усилителей в цепь.

Применение усилителей в качестве промежуточных, вносимое усиление  $S$  и параметр  $\Delta P$ , характеризующий несогласованность между входным сопротивлением проводной линии и усилителя, определяются соответственно по схемам (рис. 1, 2). При этом на

противоположных концах линии нагружаются на согласованные сопротивления. Генератор включается в схему через дополнительные сопротивления  $R \gg |z_1|, |z_2|, |z_{вх}|$ .

Вносимое усиление  $S = P_1 - P_2$ , где  $P_1, P_2$  — соответственно показания указателя уровня в 1 и 2 положениях переключателя П (рис. 1).

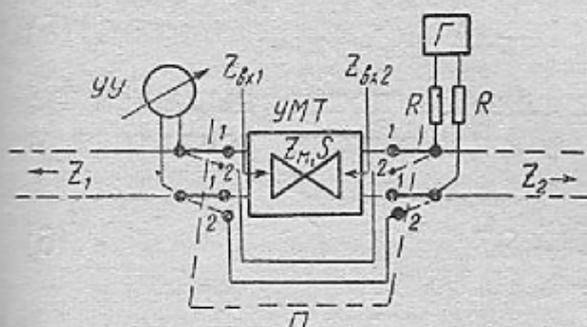


Рис. 1.

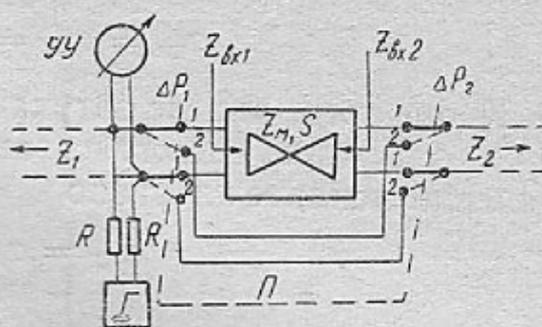


Рис. 2.

В соответствии с рис. 2

$$\Delta P_1 = P_1 - P_2 = \ln \left| \frac{z_{вх1} (z_1 + z_2)}{z_2 (z_1 + z_{вх1})} \right|, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2$  — соответственно показания указателя уровня в 1 и 2 положениях переключателя П;

$z_1 = Z_1 e^{j\varphi_1}, z_2 = Z_2 e^{j\varphi_2}$  — входные сопротивления линии слева и справа от усилителя, равные характеристическим;

$z_{вх1} = Z_{вх1} e^{j\varphi_{вх1}}$  — входное сопротивление усилителя слева при подключенной нагрузке.

При настройке усилителя добиваются минимального значения  $\Delta P$ . Линии по своим параметрам обычно отличаются незначительно, поэтому можно положить  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_{вх1}$ .

В связи с этим в дальнейшем будем оперировать модулями сопротивлений. Из (1) имеем

$$e^{\Delta P_1} = \frac{Z_{вх1} (Z_1 + Z_2)}{Z_2 (Z_1 + Z_{вх1})},$$

откуда

$$Z_{вх1} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 e^{\Delta P_1}}{Z_1 + Z_2 - Z_2 e^{\Delta P_1}}. \quad (2)$$

Затухание несогласованности слева усилителя (на его входе) через входное сопротивление с учетом (2) равно

$$a_{нл} = \ln \left| \frac{Z_1 + Z_{вх1}}{Z_1 - Z_{вх1}} \right| = \ln \left| \frac{(Z_1 - Z_2) Z_1}{Z_1^2 + Z_1 \cdot Z_2 (1 - 2e^{\Delta P_1})} \right|. \quad (3)$$

Аналогично затухание несогласованности справа усилителя:

$$a_{\text{нп}} = \ln \left| \frac{(Z_1 + Z_2) Z_2}{Z_2^2 + Z_1 Z_2 (1 - 2e^{\Delta P_2})} \right|. \quad (4)$$

Однородные линии или линии, для которых можно положить  $Z_1 = Z_2 = Z_c$ , имеют вид  $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P$ . Тогда, из последних выражений

$$a_{\text{нп}} = a_{\text{нл}} = -\ln |1 - e^{\Delta P}|. \quad (5)$$

Кроме того, это же затухание несогласованности, выраженное через затухание несогласованности  $a_n$  на выходе усилителя и усиление усилителя равно

$$a_{\text{нл}} = a_{\text{нп}} = a_n - 2S, \quad (6)$$

где

$$a_n = \ln \left| \frac{Z_c + Z_m}{Z_c - Z_m} \right|.$$

$Z_m$  — модуль характеристического сопротивления усилителя.

Из (5) и (6) находим

$$a_n = 2S - \ln(1 - e^{\Delta P}). \quad (7)$$

Из выражения (7) запас устойчивости одиночного усилителя равен

$$\sigma = a_n - S = S - \ln(1 - e^{\Delta P}).$$

При каскадном включении усилителей в цепь запас устойчивости с известными значениями  $a_n$  определяется по методике [4].

Если линии слева и справа от усилителя по своим характеристическим сопротивлениям различны, т. е.  $Z_1 \neq Z_2$ , то для определения затуханий несогласованности  $a_{\text{н2}}$ ,  $a_{\text{н1}}$  необходимо дополнительно иметь значения этих сопротивлений.

Используя зависимости (3), (4), справа усилителя имеем

$$a_{\text{н2}} = a_{\text{нл}} + 2S = 2S + \ln(Z_1 + Z_2) - \ln(Z_1 + Z_2 - 2Z_2 e^{\Delta P_1}) \quad (8)$$

и слева

$$a_{\text{н1}} = a_{\text{нп}} + 2S = 2S + \ln(Z_1 + Z_2) - \ln(Z_1 + Z_2 - 2Z_1 e^{\Delta P_2}). \quad (9)$$

При использовании оконечных усилителей затухание несогласованности между характеристическими сопротивлениями линии и усилителя определяются по рис. 3. Линия с противоположного конца нагружается на сопротивление, равное характеристическому и при настройке усилителя добиваются минимального значения  $\Delta P$ . Допущения, аналогичные тем, какие были сделаны для случая промежуточного усилителя, можно записать

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \ln \frac{Z_{\text{вх1}}}{Z_c}, \quad (10)$$

откуда

$$Z_{\text{вх1}} = Z_c e^{\Delta P}.$$

Здесь  $P_1, P_2$  показания указателя уровня в 1 и 2 положениях переключателя П.

Затухание несогласованности между характеристическим сопротивлением линии  $Z_c$  и входным сопротивлением усилителя с учетом (10) равно

$$a_{\text{нвх}} = \ln \left| \frac{Z_{\text{вх1}} + Z_c}{Z_{\text{вх1}} - Z_c} \right| = \ln \left| \frac{e^{\Delta P} + 1}{e^{\Delta P} - 1} \right|. \quad (11)$$

Кроме того,

$$a_{\text{н. вх}} = a_{\text{н. м}} - 2S, \quad (12)$$

где

$$a_{\text{н. м}} = \ln \left| \frac{Z_c + Z_M}{Z_c - Z_M} \right|. \quad (13)$$

Затухание несогласованности между характеристическими сопротивлениями усилителя и линии находим из (11) и (12)

$$a_{\text{нм}} = 2S + \ln \left| \frac{e^{\Delta P} + 1}{e^{\Delta P} - 1} \right|. \quad (14)$$

Канал связи с оконечными усилителями в критическом режиме устойчивым будет при отключенной нагрузке. При этом входное сопротивление усилителя  $z_{\text{вх2}}$  со стороны линии будет иметь отрицательное значение и равно

$$z_{\text{вх2}} = -z_M \operatorname{cth} S = -z_M \frac{e^{2S} + 1}{e^{2S} - 1}.$$

Затухание несогласованности  $a_{\text{но}}$  между входным сопротивлением усилителя  $z_{\text{вх2}}$  и характеристическим сопротивлением линии  $z_c$  равно

$$a_{\text{но}} = \ln \left| \frac{Z_c + z_{\text{вх2}}}{Z_c - z_{\text{вх2}}} \right| = \ln \left| \frac{Z_c (e^{2S} - 1) - Z_M (e^{2S} + 1)}{Z_c (e^{2S} - 1) + Z_M (e^{2S} + 1)} \right|. \quad (15)$$

Характеристическое сопротивление усилителя  $Z_M$  находим из (13) и (14), подставив их в (15), после преобразований получим

$$a_{\text{но}} = \ln \left| \frac{e^{2S} - e^{a_{\text{нм}}}}{e^{2S + a_{\text{нм}}} - 1} \right| = \ln \left| \frac{-2e^{2S}}{e^{4S} (e^{\Delta P} + 1) - e^{\Delta P} + 1} \right|. \quad (16)$$

При хорошей настройке усилителя, когда допустимо принять  $e^{\Delta P} \approx 1$ , выражение (16) упрощается:

$$a_{\text{но}} = \ln \left| -\frac{1}{e^{2S}} \right| = -2S. \quad (17)$$

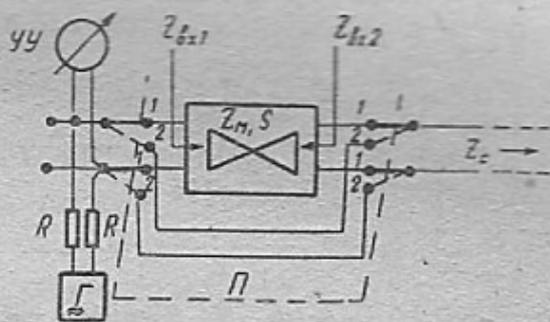


Рис. 3.

При включении на выходе усилителя транзитного удлинителя с затуханием  $a_{ту}$  выражение (17) принимает вид

$$a_{но} = 2(a_{ту} - S).$$

Таким образом, затухание несогласованности имеет отрицательную величину, что совпадает с аналогичными результатами для дуплексных усилителей с дифференциальными системами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Другов В. М., Драпкин Д. М. Телефонные усилители мостового типа. М., «Связь», 1965. 48 с.
2. Зражевский Г. Н., Зорько А. П., Коровин П. М. Каналы избирательной связи с усилителями мостового типа. — «Автоматика, телемеханика и связь», 1970, № 12, с. 6—9.
3. Другов В. М. Устойчивость усилителей мостового типа. — «Электросвязь», 1964, № 2, с. 47—53.
4. Аболиц И. А., Басик П. В., Резвяков А. П., Юдин А. П. Дальняя связь. М., «Связь», 1962. 614 с.

УДК 621.375.1.016.35

К вопросу устойчивости усилителей мостового типа. Зражевский Г. Н. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 34, 1975, с. 62—66.

Излагается методика определения затухания несогласованности на входе и выходе усилителя в канале связи с дуплексными усилителями мостового типа при использовании их в качестве промежуточных и оконечных устройств. Получены расчетные формы.

Ил. 3. Библиогр. 4.