Раздел IV

ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ АППАРАТУРЫ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Глава 10

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

10.1. Разновидности схем и применение дифференциальных систем в аппаратуре

Дифференциальная система (ДС) является наиболее распространенным в аппаратуре многоканальных систем передачи развязывающим устройством и применяется для развязки между собой параллельных ветвей различных схем.

В общем случае, ДС представляет собой восьмиполюсник, имеющий четыре двухсторонних направления пропускания и два двухсторонних направления задерживания. На рис. 10.1 представлено условное обозначение ДС, используемое на структурных схемах. Двусторонние направления пропускания 1–2, 1– 4, 2–3, 3–4 характеризуются малыми величинами затухания (*a*), двусторонние направления задерживания 2–4, 1–3 имеют значительно большее затухание (*A*).

ДС реализуются с использованием дифференциального трансформатора (рис. 10.2, а) или резисторов (рис. 10.2, б).

ДС на трансформаторе имеет потенциально меньшее значение затухания в направлениях пропускания по сравнению с ДС на резисторах. Это и некоторые другие свойства ДС на трансформаторах, в частности частотная зависимость затухания в отдельных случаях, предопределили их преимущественное использование в аппаратуре многоканальных аналоговых систем передачи.

Различают уравновешенные и неуравновешенные схемы ДС или, другими словами, симметричные и несимметричные относительно земли. Уравновешенность схемы достигается делением каждой части первичной обмотки трансформатора (W_1 и W_3) пополам и включением в оба провода цепи. В случае реализации ДС на резисторах по обоим проводам цепи распределяются сопротивления. На рис.10.3 показаны оба варианта уравновешенных ДС. Кроме того, ДС

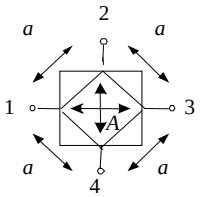

Рис. 10.1

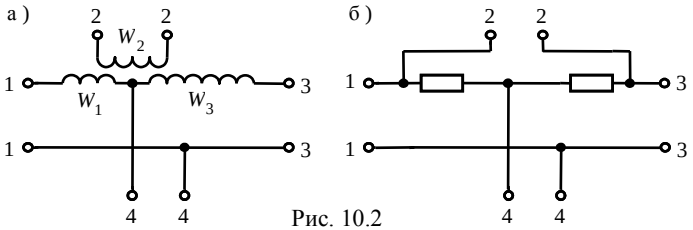

Рис. 10.2

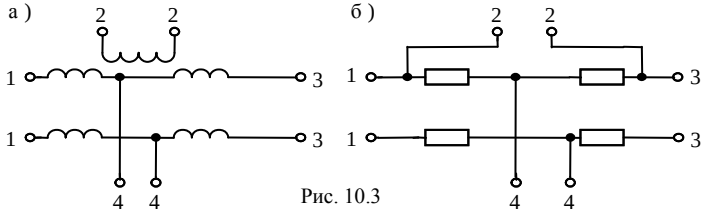

Рис. 10.3

на трансформаторе бывают равноплечими и неравноплечими в зависимости от положения отвода дифференциального трансформатора. При равенстве числа витков обоих частей первичной обмотки W_1 и W_3, разделенной отводом, ДС является равноплечей, в противном случае – неравноплечей.

Рассмотрим основные случаи применения ДС в аппаратуре МСП.

Использование ДС для получения двухпроводных выходов каналов ТЧ.

Как известно, каналы передачи современных систем передачи, в том числе и канал ТЧ, являются электрически четырехпроводными, а для организации телефонного канала электросвязи требуется наличие двухпроводного выхода канала. Схема включения ДС при переходе от четырехпроводного тракта к двухпроводному показана на рис. 10.4. Для этого к зажимам 2–2 и 4–4 подключаются тракты передачи и приема четырехпроводного канала ТЧ, а к зажимам 1–1 – двухпроводная цепь соединительной линии к коммутационному оборудованию или к телефонному аппарату. ДС обеспечивает возможность получения требуемого входного сопротивления канала на двухпроводном входе, согласование в месте перехода от четырехпроводной части канала к двухпроводной, а также предотвращает в необходимой степени обратную связь между трактами передачи и приема канала ТЧ. Для балансировки ДС к зажимам 3–3 подключается балансный контур БК.

Использование ДС для объединения нескольких трактов передачи, работающих на общую нагрузку.

Принцип включения ДС для обеспечения параллельной работы фильтров показан на рис.10.5. Подключая объединяемые тракты, например, к зажимам 2–2 и 4–4, а общий тракт – к зажимам 1–1, можно обеспечить согласованное включение трактов и предотвратить шунтирующее влияние одного тракта на другой. Последнее свойство ДС приобретает особенно важное значение в связи с частотной зависимостью входных сопротивлений используемых фильтров.

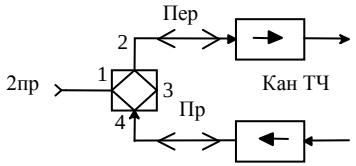

Рис. 10.4

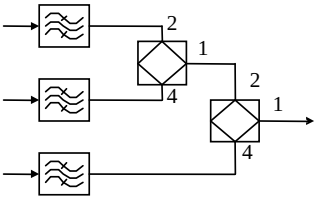

Рис. 10.5

Использование ДС для подключения к трактам передачи других сигналов.

В качестве примера на рис.10.6. показана схема ввода тока контрольной частоты в тракт передачи с помощью неравноплечей ДС. При этом основной тракт подключается к зажимам 2–2 и 1–1, а цепь подачи тока контрольной частоты – к зажимам 4–4. При таком подключении обеспечивается относительно небольшое затухание, вносимое в основной тракт. Аналогичным образом осуществляется подключение приемника тонального вызова к тракту приема канала ТЧ, измерительных устройств и т.д.

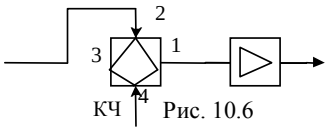

Рис. 10.6

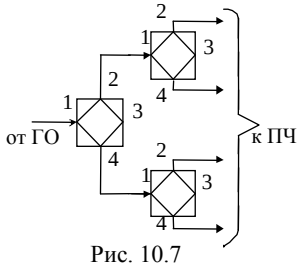

Рис. 10.7

Использование ДС для распределения мощности источника сигнала по нескольким независимым направлениям.

Пример распределения мощности несущего колебания от генераторного оборудования (ГО) по четырем преобразователям частоты (ПЧ) показан на рис.10.7. Вначале с помощью одной ДС мощность распределяется на две ветви. Далее в каждую ветвь включают другие ДС, с помощью которых мощность распределяют еще на два направления. Таким образом, осуществляя последовательное включение ДС, можно образовать n независимых направлений. Для этого задействуется $n-1$ дифференциальных систем. В случае применения равноплечих ДС общая мощность распределяется поровну между нагрузками всех направлений передачи. Затухание в каждом направлении будет равно $10\,n\lg 2$ дБ. Очевидно, что подобная схема может быть также использована для подключения нескольких независимых источников сигнала к общему тракту. Следует иметь в виду, что в приведенных схемах для балансировки ДС к зажимам 3–3 подключается согласованная нагрузка.

10.2. Основные свойства дифференциальных систем

Основные свойства дифференциальных систем рассмотрим по схеме неравноплечей ДС на трансформаторе (рис. 10.8). ДС является разновидностью мостовых структур, что и обеспечивает ее развязывающие свойства. Так, зажимы 2–2 и 4–4 ДС будут взаимно развязаны, если мост сбалансирован. Нас интересуют следующие свойства ДС: входные сопротивления и соотношения нагрузок для обеспечения баланса, значения затуханий в различных направлениях передачи (пропускания и задерживания).

При анализе ДС предполагается, что дифференциальный трансформатор имеет пренебрежимо малые потери рассеивания и паразитные емкости, между его обмотками существует жесткая связь, а индуктивности обмоток бесконечно велики и можно не считаться с их шунтирующим действием.

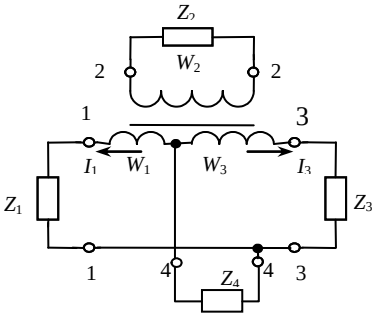

Рис. 10.8

Исходными данными для неравноплечей ДС являются коэффициенты трансформации трансформатора

$$m = W_3 / W_1, n = W_2 /(W_1 + W_3)\ ,$$

где W_{1-3} – число витков соответствующих обмоток трансформатора. При m=1 – ДС равноплечая.

Определение входных сопротивлений и нагрузок.

Условие, при котором затухание в направлении задерживания 2–4 в идеальном случае $a_{2-4} = a_{4-2} = \infty$, будет при равенстве ампер-витков $W_1 I_1 = W_3 I_3$ (рис.10.8) или $W_3/W_1=I_1/I_3=m$. Но в соответствии с законом Кирхгофа $I_1 / I_3 = Z_3 / Z_1$, поэтому $Z_3 / Z_1 = m$ и

$$Z_3 = mZ_1. \qquad (10.1)$$

Найдем входные сопротивления и нагрузки со стороны всех входов ДС относительно Z_1. Поскольку $a_{2-4} = a_{4-2} = \infty$, то на входное сопротивление со стороны зажимов 4–4 не влияет нагрузка Z_2, и ее можно закоротить, а со стороны зажимов 2–2 не влияет нагрузка Z_4, и ее можно отключить. Поэтому, согласно эквивалентным схемам рис.10.9,

$$Z_{вх2} = n^2 (Z_1 + Z_3) = n^2 (1 + m) Z_1 \quad \text{и} \quad Z_{вх4} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3} = \frac{m}{1+m} Z_1. \qquad (10.2)$$

Пользуясь системой уравнений контурных токов, можно показать, что

$$Z_{вх1}=Z_1 \quad \text{и} \quad Z_{вх3}=Z_3=mZ_1.$$

Для балансировки ДС нагрузки должны равняться входным сопротивлениям

$$Z_3 = mZ_1;\ Z_2 = n^2 (1 + m) Z_1;\ Z_4 = mZ_1 / (1 + m). \qquad (10.3)$$

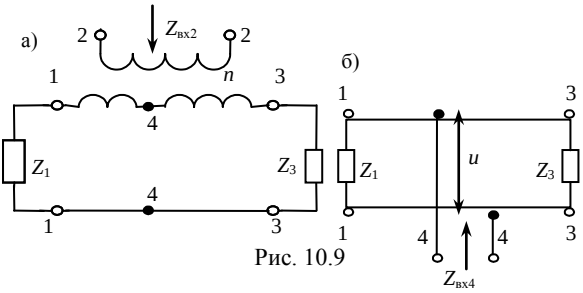

Рис. 10.9

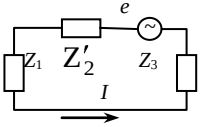

Рис. 10.10

Для равноплечей ДС (m=1) нагрузки имеют соотношения:

$$Z_1=Z_3,\quad Z_2=2n^2 Z_1,\quad Z_4=Z_1/2.$$

Определение затухания в направлениях пропускания.

Для определения рабочего затухания (оно же и характеристическое, так как выполняется условие согласования нагрузок) в направлениях 2–1 и 2–3 используем схему 10.9,а, пересчитав генератор в первичную обмотку трансформатора (рис.10.10). По определению $a_{2-1}=10\lg(P_2/P_1)$, $\alpha_{2\text{-}3}=\lg(P_2/P_3)$, где $P_1=I^2Z_1$, $P_2=I^2Z_2'$, $P_3=I^2Z_3$ – мощность, выделяемая на сопротивлениях Z_1, Z_2' и Z_3 соответственно; $Z_2'=Z_2/n^2=Z_1(1+m)$. Получаем

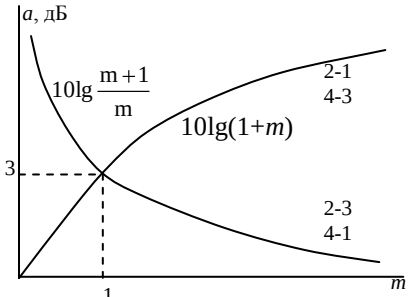

Рис. 10.11

$$a_{2-1}=10\lg(1+m),\ \alpha_{2\text{-}3}=10\lg[(1+m)/m]. \qquad (10.4)$$

Из эквивалентной схемы 10.9,б аналогично определяем $a_{4-1}=10\lg(P_4/P_1)$ и $a_{4-3}=10\lg(P_4/P_3)$, где $P_4=u^2/Z_{вх4}$, $P_1=u^2/Z_1$, $P_3=u^2/Z_3$.

Получаем

$$a_{4-1}=10\lg[(1+m)/m] \quad a_{4-3}=10\lg(1+m) \qquad (10.5)$$

При этом следует учесть, что $a_{2-1}=a_{1-2}$, $a_{2-3}=a_{3-2}$, $a_{4-1}=a_{1-4}$ и $a_{4-3}=a_{3-4}$.

Затухания равноплечей ДС во всех направлениях пропускания в соответствии с (10.4) и (10.5) равны 3 дБ.

Из (10.4) и (10.5) также следует, что при изменении значения m можно уменьшать затухание в одних направлениях пропускания за счет увеличения затухания в других направлениях передачи. Это графически представлено на рис. 10.11.

Определение затухания в направлениях задерживания.

Если к зажимам 1–1 ($Z_{вх1}$ = Z_1) подключить генератор с внутренним сопротивлением Z_1, то его мощность P_1 распределится между нагрузками Z_2 и Z_4 в следующих соотношениях:

$$P_2=P_1\cdot 10^{-0,1a_{1-2}}=P_1 10^{-\lg(1+m)}=\frac{P_1}{1+m};$$

$$P_4=P_1\cdot 10^{-0,1a_{1-4}}=P_1\frac{m}{1+m}.$$

Суммарная мощность $P_2 + P_4 = P_1$. Из этого следует, что вся мощность, подведенная к зажимам 1–1, полностью расходуется на нагрузках зажимов 2–2 и 4–4. Мощность в нагрузке зажимов 3–3 отсутствует, следовательно, направление 1–3 также является направлением задерживания и затухание при идеальной балансировке ДС $a_{1-3} = a_{3-1} = \infty$.

Практически не удается обеспечить идеальную балансировку ДС. Пользуясь методами анализа электрических цепей, для реальных ДС получены следующие формулы для определения затухания в направлениях задерживания:

$$a_{2-4} = a_{4-2} = 20\lg\left|\frac{mZ_1 + Z_3}{mZ_1 - Z_3}\right| + 20\lg 2, \qquad (10.6)$$

$$a_{1-3} = a_{3-1} = 20\lg\left|\frac{mZ_2 + n^2 Z_4 (1+m)^2}{mZ_2 - n^2 Z_4 (1+m)^2}\right| + 20\lg 2. \qquad (10.7)$$

Для равноплечей ДС (m=1) выражения упрощаются.

10.3. Особенности канальной дифференциальной системы

Для канальной ДС важное значение имеет функция защиты тракта передачи от тракта приема канала ТЧ, которая определяется величиной затухания a_{2-4}. Первое слагаемое в выражении (10.6), определяющее степень балансировки ДС, получило название балансного затухания $a_e = 20\lg\left|\frac{mZ_1 + Z_3}{mZ_1 - Z_3}\right|$.

Величина, обратная выражению под логарифмом, $\delta = \frac{mZ_1 - Z_3}{mZ_1 + Z_3}$ носит название коэффициента неуравновешенности, определяющего зависимость затухания в направлении задерживания 2–4 (рис.10.12). С уменьшением коэффициента неуравновешенности δ a_{2-4} увеличивается, а с увеличением стремится к постоянной величине $20\lg 2$.

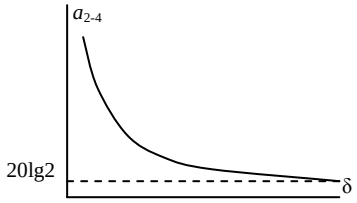

Рис. 10.12

В типовых схемах канальных ДС для их балансировки применяются в качестве нагрузки Z_3 простейшие ненастраиваемые балансные контуры (БК), состоящие из последовательного соединения элементов R и C, не обеспечивающие полной балансировки. Поэтому затухание ДС в направлении задерживания сравнительно невелико

(25…30 дБ).

Кроме названных выше функций, канальная ДС должна обеспечить согласование по уровням и по сопротивлению с соединяемым четырехпроводным трактом канала ТЧ и двухпроводный выход телефонного канала с двухпроводной цепью к потребителю. Как известно, номинальные относительные уровни двухпроводного выхода канала зависят от режима (см.гл.18): в режиме “оконечный” (ОК) уровень передачи $p_{пер} = 0$ дБ, уровень приема $p_{пр} = -7$ дБ; в режиме “транзит” (ТР) $p_{пер} = p_{пр} = -3{,}5$ дБ; четырехпроводный режим канала ТЧ $p_{пер} = -13$ дБ, $p_{пр} = +4$ дБ. Для согласования уровней и обеспечения режимов двухпроводного выхода “ОК” и “ТР” схема ДС дополняется на входе транзитным удлинителем (ТУ) затуханием $a_{ту} = 3{,}5$ дБ, в тракте передачи и приема согласующими удлинителями $У_1$ и $У_2$ (рис.10.13). Эти же удлинители выполняют роль согласующих устройств по сопротивлению.

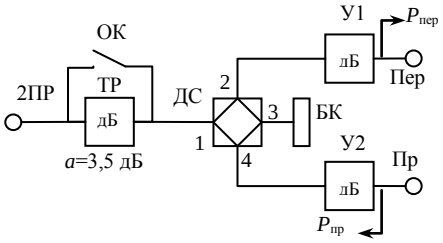

Рис. 10.13

Удлинитель У1 рассчитывается на такое затухание, чтобы в любом режиме 2-проводного окончания канала на выходе тракта передачи к каналу ТЧ был относительный уровень измерительного сигнала (1020 Гц) $p_{пер} = -13$ дБ, то есть затухание цепи передачи от входа 1 ДС до выхода Пер $a_{пер} = 9{,}5$ дБ. Удлинитель У2 должен иметь такое затухание, чтобы при подаче на вход тракта приема измерительного сигнала (1020 Гц) с уровнем $p_{пр} = +4$ дБ на выходе 2ПР были уровни в режиме ТР минус 3,5дБ, в режиме ОК минус 7 дБ, то есть затухание цепи приема от входа Пр до выхода 1ДС $a_{пр} = 7{,}5$ дБ.