

4.2. Усилитель с коэффициентом усиления по напряжению, равным 10, имеет на некоторой частоте ω_1 коэффициент частотных искажений $M(\omega_1) = 2$. Рассчитать необходимый коэффициент передачи цепи частотно-независимой обратной связи, при которой коэффициент частотных искажений $M(\omega_1)$ уменьшится до значения $\sqrt{2}$.

Ответ: 0,144.

4.3. В двухкаскадном транзисторном усилителе использованы транзисторы с коэффициентом передачи тока базы β в диапазоне от 30 до 120. Известно, что при максимальном значении β усилитель имеет коэффициент усиления по току, равный 3000. Найти минимальную глубину обратной связи, при которой уменьшение усиления за счет разброса параметра β не превышает 10% по сравнению с максимальным значением. Определить требуемое значение коэффициента γ и результирующее максимальное усиление.

Ответ: $4,5 \cdot 10^{-2}$; 22,2.

4.4. Усилитель с коэффициентом усиления по напряжению, равным 100, и выходным сопротивлением 1 кОм работает на чисто емкостную нагрузку $C_H = 100$ пФ. Определить, на сколько изменится верхняя граничная частота усилителя, определяемая по уровню -3 дБ, при введении ООС с частотно-независимым коэффициентом $\gamma = 0,1$.

Ответ: на 6,6 МГц.

§ 4.2. УСИЛИТЕЛИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

а) *Последовательная обратная связь по напряжению*

Структурная схема усилителя с последовательной обратной связью по напряжению приведена на рис. 4.3. На входе схемы происходит алгебраическое суммирование напряжений $u_{вх}$ и $u_{ос}$. Поскольку сигнал обратной связи $u_{ос}$ вводится последовательно с сигналом $u_{вх}$, такую обратную связь называют последовательной. Кроме того, сигнал обратной связи $u_{ос}$ здесь пропорционален выходному напряжению. Поэтому такую обратную связь называют обратной связью по напряжению. Часть структурной схемы, заключенная в прямоугольник, представляет собой эквивалентную схему собственно усилителя, у которого известны $R_{вх}$ — входное сопротивление, $R_{вых}$ — выходное сопротивление и $K_{U_{xx}}$ — коэффициент усиления по напряжению в ненагруженном состоянии (холостой ход). Цепь обратной связи выполнена в виде резистивного делителя напряжения (R_1, R_2), подключенного параллельно нагрузке. Из рассмот-

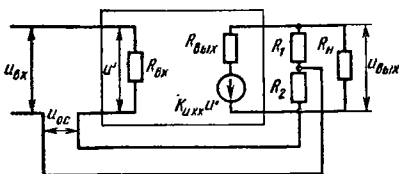


Рис. 4.3

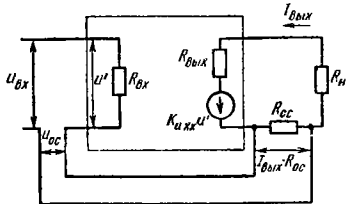


Рис. 4.4

рения схемы на рис. 4.3 видно, что

$$u_{ос} = \gamma u_{вых} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{вых}, \text{ т. е. } \gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Коэффициент усиления без обратной связи

$$K_U = \frac{K_{UXX} R'_H}{R'_H + R_{ВЫХ}}, \quad (4.4)$$

где $R'_H = R_H \parallel (R_1 + R_2)$.

Суммируя входные напряжения, получаем

$$u' = u_{вх} - \gamma u_{вых} = u_{вх} - \gamma K_U u',$$

$$u' = u_{вх} / (1 + \gamma K_U), \text{ но } u_{вых} = K_U u' = \frac{K_U u_{вх}}{1 + \gamma K_U},$$

так что коэффициент усиления с обратной связью

$$K_{Uос} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = \frac{K_U}{1 + \gamma K_U} = \frac{K_U}{F}. \quad (4.5)$$

Отсюда следует, что ООС уменьшает коэффициент усиления в $F = 1 + \gamma K_U$ раз.

Действие напряжения обратной связи последовательного типа приводит к уменьшению входного тока, что эквивалентно увеличению входного сопротивления усилителя с обратной связью. Можно показать, что

$$R_{вх.ос} = R_{вх} (1 + \gamma K_U), \quad (4.6)$$

т. е. входное сопротивление увеличивается в $1 + \gamma K_U$ раз. Наличие ООС по напряжению обеспечивает стабилизацию выходного напряжения при изменении тока нагрузки. Этот эффект эквивалентен уменьшению выходного сопротивления усилителя с обратной связью. Можно показать, что

$$R_{вых.ос} = R_{вых} / (1 + \gamma K_{UXX}), \quad (4.7)$$

т. е. выходное сопротивление уменьшается в $1 + \gamma K_{UXX}$ раз.

б) Последовательная обратная связь по току

Структурная схема усилителя с последовательной обратной связью по току приведена на рис. 4.4. Сигнал обратной связи в данной схеме пропорционален выходному току, который протекает по сопротивлению обратной связи R_{oc} . Возникающее при этом падение напряжения $I_{вых}R_{oc}$ является сигналом обратной связи. В том случае, когда $R_{oc} \ll R_{вх}$, получим

$$\frac{\gamma u_{вых}}{u_{вых}} = \frac{I_{вых}R_{oc}}{I_{вых}R_{н}}, \text{ т. е. } \gamma = \frac{R_{oc}}{R_{н}}. \quad (4.8)$$

Кроме того,

$$K_U = \frac{K_{U_{хх}}R_{н}}{R_{н} + R_{oc} + R_{вых}}. \quad (4.9)$$

Коэффициент усиления и входное сопротивление с обратной связью определяются соответственно по формулам (4.5) и (4.6) с учетом выражений (4.8) и (4.9) для γ и K_U .

Наличие ООС по току приводит к стабилизации выходного тока, что эквивалентно увеличению выходного сопротивления усилителя с обратной связью. Можно показать, что

$$R_{вых.ос} \approx R_{вых} + R_{oc}K_{U_{хх}}, \quad (4.10)$$

т. е. выходное сопротивление увеличивается.

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

4.5. Усилитель с входным сопротивлением $R_{вх} = 10$ кОм и выходным сопротивлением $R_{вых} = 0,5$ кОм при работе на нагрузку с сопротивлением $R_{н} = 2$ кОм имеет коэффициент усиления по напряжению, равный 500. Как изменятся коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления усилителя при введении в него последовательной обратной связи по напряжению? Делитель напряжения включен параллельно нагрузке и составлен из сопротивлений $R_1 = 9,9$ кОм и $R_2 = 100$ Ом.

Решение

1. Определим коэффициент усиления по напряжению усилителя без обратной связи при холостом ходе. Используя (4.4), получим $500 = K_{U_{хх}} \cdot 2 / (2 + 0,5)$. Отсюда $K_{U_{хх}} = 500 \cdot \frac{2,5}{2} = 625$.

2. Учтем влияние делителя напряжения:

$$R'_н = R_{н} \parallel (R_1 + R_2) = 2 \parallel (9,9 + 0,1) = 1,66 \text{ кОм.}$$