На рисунке 1 приведена схема усилительного каскада. Опишем назначение элементов схемы:

*VT –* активный элемент усилителя;

*R1, R2* – сопротивления, обеспечивающие выбор рабочей точки транзистора;

*Rk* – нагрузка по постоянному току.

*Re –* обеспечивает ООС, и как следствие, температурную стабилизацию;

*Rн* – нагрузка усилительного каскада;

*Cc* – разделяющий конденсатор, ограничивает прохождение постоянной составляющей сигнала

*Ce –* элемент, обеспечивающий отсутствие ООС по переменному току;

*Cн –* емкостьнагрузки.

Параметры всех элементов схемы приведены в таблице 1.



Рисунок 1 – Схема усилительного каскада

Таблица 1 - Параметры схемы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R1 | R2 | Rс | Re | Rн | Rг | C1 | Cc | Ce | Cн |
| кОм | кОм | кОм | кОм | кОм | кОм | мкФ | мкФ | мкФ | пФ |
| 18 | 3,9 | 2 | 0,47 | 3,6 | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 110 | 50 |

Тип транзистора: КТ503В

Необходимо составить эквивалентную схему усилительного каскада в области средних частот (СЧ), и определить коэффициент усиления *K0*.

В области средних частот сопротивления конденсаторов *Cc, Ce* малы, следовательно, на эквивалентной схеме они будут закорочены. Также, закорачиваем и источник постоянного напряжения *Е*.

Эквивалентная схема усилительного каскада в области СЧ приведена на рис. 3.



Рисунок 2 – Эквивалентная схема каскада в области СЧ для нахождения числителя формулы Мезона



Рисунок 3 – Эквивалентная схема каскада в области СЧ для нахождения знаменателя формулы Мезона

Коэффициент усиления *K0* в области СЧ определим по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Коэффициент усиления в дБ:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Типовые значения *h-*параметров для заданного транзистора:

h11e = 1,4 кОм;

h21e = 75…135, для удобства расчета, принимаем *h21e*= 100;

Таким образом, коэффициент усиления *K0* в области СЧ будет равен:



 дБ

**ОБЛАСТЬ НИЗШИХ ЧАСТОТ**

С понижением частоты реактивные сопротивления конденсаторов *C1, Ce* и *Cc* увеличиваются (1.3), и их нужно учитывать:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Так, конденсатор *Cc* оказывает сопротивление выходному сигналу, *C1* – входному сигналу, уменьшается шунтирующее действие конденсатора *Ce* на резистор *Re*, что уменьшает коэффициент усиления на низкой частоте (НЧ).

При частоте, близкой к нулю, эквивалентная схема каскада будет выглядеть так, как показано на рис. 4.



Рисунок 4 – Эквивалентная схема усилительного каскада на низкой частоте.

Частотные искажения, вносимые конденсаторами входной цепи *C1,* и связи *Cc* определяется выражением:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

где *f –* частота;

 – постоянная времени;

Для входной цепи постоянная времени равна:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

где *Rвх –* входное сопротивление каскада;

Для конденсатора связи постоянная времени равна:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

Частотные искажения, вносимые эмиттерной цепью определяются из выражения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где *g=ReCe* ; *a=ReSes* , где *Ses* – сквозная характеристика эмиттерного тока, равная:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

 кОм

с.



















Данные расчета заносим в таблицу 2, изменяя частоту от 5 Гц до 60 Гц.

Результирующие частотные искажения определяются как произведение полученных частотных искажений:

, и с их учетом рассчитаем коэффициент усиления при изменении частоты:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

или

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Таблица 2 – Расчет АЧХ на низкой частоте

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, Гц | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| M1 | 1,00 | 1,00 | 1,00002 | 1,00007 | 1,00016 | 1,00029 | 1,00045 | 1,00101 | 1,00179 | 1,00280 |
| M2 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,001 | 1,003 | 1,006 | 1,009 | 1,020 | 1,035 | 1,054 |
| M3 | 9,531 | 5,920 | 3,436 | 2,008 | 1,544 | 1,334 | 1,223 | 1,101 | 1,055 | 1,033 |
| MH | 9,531 | 5,920 | 3,437 | 2,011 | 1,549 | 1,342 | 1,234 | 1,124 | 1,094 | 1,093 |
| KH | 5,607 | 9,026 | 15,547 | 26,569 | 34,497 | 39,818 | 43,301 | 47,558 | 48,854 | 48,910 |
| KH,дБ | 14,974 | 19,110 | 23,833 | 28,487 | 30,756 | 32,002 | 32,730 | 33,544 | 33,778 | 33,788 |

**ОБЛАСТЬ ВЫСШИХ ЧАСТОТ**

Эквивалентная схема каскада для высоких частот (ВЧ) не будет содержать конденсаторов *C1, Ce* и *Cc*, так как их сопротивления на высокой частоте близко к нулю.

Но, на высоких частотах, нужно учитывать емкость монтажа, *Cм*, межэлектродную емкость *Ссе*, а также, емкость нагрузки *Cн*.

Эквивалентная схема на ВЧ будет иметь вид, представленный на рис. 5.



Рисунок 5 – Эквивалентная схема каскада в области высоких частот

Определим частотные искажения каскада в области ВЧ:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где *fh21e* – граничная частота транзистора, в схеме с общим эмиттером;

*τB=RC*;

*С=Сce+CM+CH*;

**

*fh21e –* справочное значение, равное1 мГц;

Емкость *Сce*, *–* справочное значение, равная20 пФ;

Емкость *СМ* принимаем равной 5 пФ.

** кОм

* Ф*

* С*

Используя выражение (1.11), вычислим частотные искажения в диапазоне частот 50…800 кГц, данные расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Расчет АЧХ на высокой частоте

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, кГц | 50 | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 9000 |
| MВ | 1,000 | 1,000 | 1,005 | 1,027 | 1,181 | 1,596 | 2,322 | 3,341 | 4,630 | 10,021 |
| Kв | 53,437 | 53,429 | 53,151 | 52,037 | 45,253 | 33,482 | 23,012 | 15,995 | 11,541 | 5,333 |
| Кв, дБ | 34,557 | 34,556 | 34,510 | 34,326 | 33,113 | 30,496 | 27,239 | 24,080 | 21,245 | 14,539 |

По данным из таблиц 2, 3 построим АЧХ усилительного каскада. По оси ординат отложим частоту усиливаемого сигнала в логарифмическом масштабе, по оси абсцисс – коэффициент усиления в дБ.

Приложение 1

АЧХ усилительного каскада

