# ВАРИАНТЫ 14 и 24

# Контрольные задания и указания к выполнению

## Задача 1

Рассчитать в заданном диапазоне частот первичные и вторичные параметры передачи цепи симметричного (коаксиального) кабеля. Расчет указанных параметров выполняется на 5 частотах, равномерно распределенных в заданном диапазоне, начиная с *f*н до *f*в. В заключение построить графики частотных зависимостей рассчитанных параметров. Исходные данные приведены в табл. 1.1 и 1.2.

### Методика расчета первичных параметров передачи цепи симметричного кабеля

Расчет параметров передачи цепи выполняется для симметричного кабеля звездной скрутки.

Активное сопротивление цепи переменному току симметричного кабеля звездной скрутки вычисляется по формуле:

, (1.1)

где  – сопротивление двухпроводной симметричной кабельной цепи постоянному току;

*d*0– диаметр токопроводящей жилы, мм;

*p* – коэффициент, учитывающий тип скрутки элементарной группы, для звездной скрутки *p*=5;

*k* – коэффициент скрутки, в расчетах принимается равным 1,02;

 – удельное сопротивление материала токопроводящей жилы (меди = 0,0175 и алюминия= 0,028) Ом⋅мм2/м.

Аргумент *x* функций *F*(*x*), *G*(*x*) и *H*(*x*) в (1.1) определяется по формулам:

*x* = 0,0105 – для медных токопроводящих жил,

*x* = 0,0022– для алюминиевых токопроводящих жил,

где *f* – частота, Гц.

#### Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон частот,  кГц | Тип изоляции | Диаметр корделя, мм | Толщина ленты, мм | Толщина изоляции, мм | Номера вариантов | | | | | | | | | |
| 20–300 | Кордельно-бумажная | 0,7 | 0,12 | – | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| 300–5000 | Кордельно-стирофлексная | 0,6 | 0,05 | – | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 100–1000 | Сплошная -полиэтиленовая | – | – | 1,0 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30–500 | Кордельно- стирофлексная | 0,8 | 0,07 | – | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 60–1000 | Сплошная -полиэтиленовая | – | – | 1,2 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| Токопроводящая жила | | материал | | | м | а | м | а | м | а | м | а | м | а |
| диаметр | | | 0,9 | 1,2 | 1,0 | 1,3 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,5 | 1,3 | 1,6 |

##### Исходные данные

Условные обозначения: м – медь; а – алюминий

#### Таблица 1.2

##### Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон частот,  кГц | Тип изоляции | Диаметр проводников, мм | Материал проводников | Номера вариантов | | | | | | | | | |
| 60–5000 | Баллонная –полиэтиленовая | 1,2 / 4,6 | м/м | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |
| 300–10000 | Шайбовая –полиэтиленовая | 2,4 / 9,5 | м/м | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| 300–5000 | Пористая –полиэтиленовая | 1,4 / 5,3 | м/м | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 |
| 60–20000 | Шайбовая –полиэтиленовая | 2,1 / 9,7 | м/а | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |
| 300–5000 | Баллонная –полиэтиленовая | 1,3 / 5,5 | м/а | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 |
| Толщина внешнего проводника *t*, мм | | | | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,18 | 0,27 | 0,37 | 0,12 |
| Толщина экрана из 2 стальных лент tэ, мм | | | | 0,1 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,3 | 0,25 | 0,13 | 0,18 | 0,23 | 0,26 |
| Шаг наложения стальных лент *h*, мм | | | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 10 | 13 | 18 | 23 | 28 |

Условные обозначения: м – медь; а – алюминий

Значения функций *F*(*x*), *G*(*x*) и *H*(*x*) определяются по табл. 1.3. Если значение аргумента *x* не совпадает с приведенными в табл. 1.3 значениями, то для нахождения истинных значений функций следует использовать линейную интерполяцию.

Для звездной скрутки элементарной группы расстояние между центрами токопроводящих жил

a = 1,41d1,

где *d*1 – диаметр изолированной жилы.

Значение *d*1 для сплошной изоляции токопроводящих жил:

d1 = d0 + 2tиз,

где *d*0 – диаметр токопроводящей жилы; *t*из – толщина изоляции.

Значение *d*1 для кордельной изоляции токопроводящих жил:

*d*1 = *d*0 + 2*d*к + 2*t*л ,

где *d*к – диаметр корделя, *t*л – толщина ленты.

Точный расчет значений *RМ* в формуле (1.1) вызывает определенные трудности, поэтому при решении данной задачи рекомендуется использовать упрощенную формулу:

 (1.2)

где *f* – частота, Гц.

Расчет индуктивности двухпроводной кабельной цепи выполняется по формуле:

 (1.3)

Значение *Q*(*x*) определяется по табл. 1.3.

Емкость кабельной цепи

, (1.4)

Где экв – эквивалентная диэлектрическая проницаемость, значения которой для различных типов изоляции приведены в табл.1.4;

зв ≈ 0,65 – поправочный коэффициент для звездной скрутки.

#### Таблица 1.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *x* | *F*(*x*) | *G*(*x*) | *H*(*x*) | *Q*(*x*) | *x* | *F*(*x*) | *G*(*x*) | *H*(*x*) | *Q*(*x*) |
| 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,0417 | 1,000 | 5,1 | 1,078 | 0,772 | 0,535 | 0,545 |
| 0,1 | 0,000 | /64 | 0,0417 | 1,000 | 5,2 | 1,114 | 0,790 | 0,540 | 0,535 |
| 0,2 | 0,000 | /64 | 0,0417 | 1,000 | 5,3 | 1,149 | 0,808 | 0,545 | 0,525 |
| 0,3 | 0,000 | /64 | 0,0417 | 1,000 | 5,4 | 1,184 | 0,826 | 0,550 | 0,516 |
| 0,4 | 0,000 | /64 | 0,0417 | 1,000 | 5,5 | 1,219 | 0,843 | 0,554 | 0,507 |
| 0,5 | 0,000 | 0,001 | 0,042 | 1,000 | 5,6 | 1,254 | 0,861 | 0,558 | 0,498 |
| 0,6 | 0,001 | 0,002 | 0,044 | 1,000 | 5,7 | 1,289 | 0,879 | 0,562 | 0,489 |
| 0,7 | 0,001 | 0,004 | 0,045 | 0,999 | 5,8 | 1,324 | 0,896 | 0,566 | 0,481 |
| 0,8 | 0,002 | 0,006 | 0,046 | 0,999 | 5,9 | 1,359 | 0,914 | 0,571 | 0,473 |
| 0,9 | 0,003 | 0,010 | 0,049 | 0,998 | 6,0 | 1,394 | 0,932 | 0,575 | 0,465 |
| 1,0 | 0,005 | 0,015 | 0,053 | 0,997 | 6,1 | 1,429 | 0,959 | 0,579 | 0,458 |
| 1,1 | 0,008 | 0,022 | 0,058 | 0,996 | 6,2 | 1,463 | 0,967 | 0,582 | 0,451 |
| 1,2 | 0,011 | 0,031 | 0,064 | 0,995 | 6,3 | 1,498 | 0,985 | 0,586 | 0,443 |
| 1,3 | 0,015 | 0,041 | 0,072 | 0,993 | 6,4 | 1,533 | 1,003 | 0,590 | 0,436 |
| 1,4 | 0,020 | 0,054 | 0,080 | 0,990 | 6,5 | 1,568 | 1,020 | 0,593 | 0,430 |
| 1,5 | 0,026 | 0,069 | 0,092 | 0,987 | 6,6 | 1,603 | 1,038 | 0,596 | 0,424 |
| 1,6 | 0,033 | 0,086 | 0,106 | 0,983 | 6,7 | 1,638 | 1,055 | 0,599 | 0,418 |
| 1,7 | 0,042 | 0,106 | 0,122 | 0,979 | 6,8 | 1,673 | 1,073 | 0,602 | 0,412 |
| 1,8 | 0,052 | 0,127 | 0,137 | 0,974 | 6,9 | 1,708 | 1,091 | 0,605 | 0,406 |
| 1,9 | 0,064 | 0,149 | 0,154 | 0,968 | 7,0 | 1,743 | 1,109 | 0,608 | 0,400 |
| 2,0 | 0,078 | 0,172 | 0,169 | 0,961 | 7,1 | 1,778 | 1,126 | 0,611 | 0,394 |
| 2,1 | 0,094 | 0,196 | 0,187 | 0,953 | 7,2 | 1,813 | 1,144 | 0,614 | 0,389 |
| 2,2 | 0,111 | 0,221 | 0,206 | 0,945 | 7,3 | 1,848 | 1,162 | 0,617 | 0,384 |
| 2,3 | 0,131 | 0,246 | 0,224 | 0,935 | 7,4 | 1,884 | 1,180 | 0,620 | 0,379 |
| 2,4 | 0,152 | 0,271 | 0,242 | 0,925 | 7,5 | 1,919 | 1,198 | 0,622 | 0,374 |
| 2,5 | 0,175 | 0,295 | 0,263 | 0,913 | 7,6 | 1,954 | 1,216 | 0,624 | 0,369 |
| 2,6 | 0,201 | 0,318 | 0,280 | 0,901 | 7,7 | 1,989 | 1,233 | 0,627 | 0,364 |
| 2,7 | 0,228 | 0,341 | 0,298 | 0,888 | 7,8 | 2,024 | 1,251 | 0,630 | 0,360 |
| 2,8 | 0,256 | 0,363 | 0,316 | 0,874 | 7,9 | 2,059 | 1,269 | 0,632 | 0,355 |
| 2,9 | 0,286 | 0,384 | 0,333 | 0,860 | 8,0 | 2,094 | 1,287 | 0,634 | 0,351 |
| 3,0 | 0,318 | 0,405 | 0,348 | 0,845 | 8,1 | 2,129 | 1,304 | 0,637 | 0,347 |
| 3,1 | 0,351 | 0,425 | 0,362 | 0,830 | 8,2 | 2,165 | 1,322 | 0,640 | 0,343 |
| 3,2 | 0,385 | 0,444 | 0,376 | 0,814 | 8,3 | 2,200 | 1,339 | 0,642 | 0,339 |
| 3,3 | 0,420 | 0,463 | 0,388 | 0,798 | 8,4 | 2,235 | 1,357 | 0,644 | 0,335 |
| 3,4 | 0,456 | 0,481 | 0,400 | 0,782 | 8,5 | 2,270 | 1,375 | 0,646 | 0,331 |
| 3,5 | 0,492 | 0,499 | 0,410 | 0,766 | 8,6 | 2,306 | 1,393 | 0,647 | 0,327 |
| 3,6 | 0,529 | 0,516 | 0,420 | 0,749 | 8,7 | 2,341 | 1,410 | 0,649 | 0,323 |
| 3,7 | 0,566 | 0,533 | 0,430 | 0,733 | 8,8 | 2,376 | 1,428 | 0,651 | 0,320 |
| 3,8 | 0,603 | 0,550 | 0,440 | 0,717 | 8,9 | 2,411 | 1,446 | 0,653 | 0,316 |
| 3,9 | 0,640 | 0,567 | 0,450 | 0,702 | 9,0 | 2,446 | 1,464 | 0,655 | 0,313 |

#### Окончание табл. 1.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4,0 | 0,678 | 0,584 | 0,460 | 0,688 | 9,1 | 2,481 | 1,481 | 0,657 | 0,309 |
| 4,1 | 0,715 | 0,601 | 0,466 | 0,671 | 9,2 | 2,517 | 1,499 | 0,658 | 0,306 |
| 4,2 | 0,752 | 0,618 | 0,474 | 0,657 | 9,3 | 2,552 | 1,516 | 0,660 | 0,302 |
| 4,3 | 0,789 | 0,635 | 0,484 | 0,643 | 9,4 | 2,587 | 1,534 | 0,662 | 0,299 |
| 4,4 | 0,862 | 0,652 | 0,490 | 0,629 | 9,5 | 2,622 | 1,552 | 0,664 | 0,296 |
| 4,5 | 0,863 | 0,669 | 0,497 | 0,616 | 9,6 | 2,658 | 1,570 | 0,666 | 0,293 |
| 4,6 | 0,899 | 0,686 | 0,505 | 0,603 | 9,7 | 2,693 | 1,587 | 0,667 | 0,290 |
| 4,7 | 0,935 | 0,703 | 0,510 | 0,590 | 9,8 | 2,728 | 1,605 | 0,668 | 0,287 |
| 4,8 | 0,971 | 0,720 | 0,516 | 0,579 | 9,9 | 2,763 | 1,623 | 0,669 | 0,284 |
| 4,9 | 1,007 | 0,738 | 0,524 | 0,567 | 10,0 |  |  | 0,750 |  |
| 5,0 | 1,043 | 0,755 | 0,530 | 0,556 |

Проводимость изоляции кабельной цепи

, (1.5)

где tg экв – эквивалентное значение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции, определяемое по табл.1.4.

### Методика расчета первичных параметров передачи цепи коаксиального кабеля

Общее сопротивление коаксиальной цепи:

для случая, когда оба проводника медные

, (1.6)

для случая, когда внутренний проводник медный, а внешний алюминиевый

, (1.7)

где *f* – частота, Гц; *r*a – внешний радиус внутреннего проводника, мм;   
*r*в– внутренний радиус внешнего проводника, мм.

Общая индуктивность коаксиальной цепи:

для случая, когда оба проводника медные

, (1.8)

для случая, когда внутренний проводник медный, а внешний алюминиевый

. (1.9)

Для расчета емкости и проводимости изоляции коаксиальной цепи рекомендуется использовать следующие формулы:

, (1.10)

. (1.11)

Значения экв и tg экв для различных типов изоляции приведены в табл. 1.4.

#### Таблица 1.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип изоляции | экв | tg экв⋅10–4 на частоте, Мгц | | | | | | | |
| 0,01 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 60 |
| Кордельно-бумажная | 1,35 | 5,5 | 113 | 160 | 280 | – | – | – | – |
| Кордельно-стирофлексная | 1,25 | 3 | 7 | 12 | 20 | 32 | 51 | – | – |
| Сплошная  полиэтиленовая | 2,0 | 2 | 5 | 8 | 14 | 25 | – | – | – |
| Шайбовая  полиэтиленовая | 1,13 | – | – | 0,3 | 0,35 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Баллонно -  полиэтиленовая | 1,22 | – | – | 1,05 | 1,1 | 1,2 | 1.3 | 1,5 | – |
| Пористая  полиэтиленовая | 1,45 | – | – | 3 | 4 | 5 | 8 | 9 | – |

### Методика расчета вторичных параметров передачи

Вторичные параметры передачи симметричных и коаксиальных цепей определяются через первичные параметры передачи и в зависимости от частотного диапазона используются различные формулы расчета. В связи с тем, что в задаче расчет параметров передачи выполняется для высокочастотной области, вторичные параметры рекомендуется определять по следующим формулы

, (1.12)

, (1.13)

, (1.14)

. (1.15)

## Задача 2

Рассчитать вторичные параметры взаимного влияния на строительной длине симметричного (коаксиального) кабеля. По результатам расчета построить графики частотной зависимости.

Исходные данные приведены в табл. 1.1 и 1.2. Кроме того, при решении используются ранее рассчитанные значения первичных параметров передачи. Расчет параметров влияния выполняется на тех же частотах, что и параметров передачи в предыдущей задаче.

### Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями симметричного кабеля

Переходные затухания на ближнем конце – *A*0 и на дальнем конце – *Al* на строительной длине кабеля рассчитываются по формулам:

, (2.1)

. (2.2)

При расчете коэффициентов электромагнитных связей *N*12 и *F*12 рекомендуется использовать формулы:

, (2.3)

. (2.4)

Исходной величиной при расчетах является *k*12, которая при решении задачи принимается равной *k*12 = 10 пФ/сд.

Величина *m*12 определяется из соотношения между индуктивной и электрической связями в кабелях связи:

. (2.5)

Активные составляющие *g*12 электрических и магнитных *r*12 связей определяются из усредненных соотношений активных и реактивных составляющих:

, . (2.6)

### Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями коаксиального кабеля

Переходное затухание на ближнем конце – *A*0 и дальнем конце – *Al* между коаксиальными цепями определяются по формулам:

, (2.7)

. (2.8)

При расчетах строительную длину кабеля *l* принять равной 0,5 км, значения *Z*в и  =  + *j* – из предыдущей задачи.

Значение сопротивления связи *Z*12 внешнего проводника коакси-альной цепи, экранированной двумя стальными лентами определяется по формуле:

, (2.9)

где  – проводимость материала проводника;

*t* – толщина внешнего проводника;

*r*в – внутренний радиус внешнего проводника;

*r*c = *r*в + *t* – внешний радиус внешнего проводника.

Значения *k* в формуле (2.9) принимаются равными:

*k* = 0,021 – для медного проводника,

*k* = 0,0164 – для алюминиевого проводника,

где *f* – частота, Гц.

Входящие в формулу (2.9) *Lz* – продольная и *L*в – внутренняя индуктивности третьей цепи рассчитываются так:

, (2.10)

, (2.11)

где э – относительная магнитная проницаемость экрана, для экрана из стальных лент э = 100.

Значение сопротивления третьей цепи *Z*3 в формулах (2.7) и (2.8) при наличии поверх экрана изолирующего покрытия:

. (2.12)

В заключение выполнения контрольной работы, как указывалось в условиях задач, необходимо построить графики частотной зависимости рассчитанных параметров и письменно объяснить их характер.