

## КОРРЕКЦИЯ ИНДУКТИВНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ

А. И. КРАМНЮК

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

В последнее время разработаны индуктивные делители (ИД) с применением нового, названного лестничным, типа намотки [1]. Такие делители благодаря равномерной структуре, достигнутой чисто технологическим путем, могут обеспечить высокую точность коэффициента деления, в принципе, до весьма высоких частот. На конечное значение выходного сопротивления, причем имеющего в основном индуктивный характер, и наличие паразитных емкостей ( $C_{\text{пар}}$ ) приводит с ростом частоты к появлению частотной погрешности.

К числу указанных емкостей и оказывающих наиболее существенное влияние, следует отнести емкость нагрузки ( $C_{\text{н}}$ ), остаточную паразитную емкость между отдельными обмотками в самой декаде ( $C_{0g}$ ) и входную емкость декады ( $C_{\text{вх}}$ ).

Влияние  $C_{0g}$  подробно рассмотрено в [2]. Там же намечены пути уменьшения ее влияния и приведены необходимые рекомендации.

При проектировании широкополосных ИД для уменьшения прямого прохождения отдельные декады необходимо помещать в экраны, что приводит к появлению емкости относительно экрана ( $C_{\text{э}}$ ), которая также оказывает существенное влияние на величину частотной погрешности.

При отсутствии паразитных емкостей отношение напряжений строго равно отношению соответствующего числа витков в обмотках. Указанное соотношение будет выполняться и при наличии  $C_{\text{пар}}$ , если значения эквивалентных емкостей ( $C_{\text{экв}}$ ), приведенных к каждой отдельной обмотке, равны между собой. Обеспечить равенство  $C_{\text{экв}}$  можно путем подключения дополнительных корректирующих емкостей.

Достигнуть полной коррекции при всех значениях коэффициента деления практически довольно трудно, так как необходимо применять большое количество корректирующих элементов и довольно сложные системы коммутации. Если ограничиться каким-либо вполне допустимым значением частотной погрешности, то можно резко уменьшить количество корректирующих элементов. Учтем то обстоятельство, что доля, вносимая в общую частотную погрешность каждой последующей декадой, по сравнению с предыдущей будет во столько раз меньше, во сколько меньше напряжение, приложенное к ней, по сравнению с напряжением, приложенным к предыдущей декаде. Поэтому достаточно обеспечить полную частотонезависимость тех декад, у которых один вывод подключен к общему проводу, и погрешность всего делителя будет значительно снижена.

На рис. 1 приведена схема  $i$ -й декады, работающей на емкостную нагрузку  $C_{нi}$ , где

$C_1 \div C_{10}$  — корректирующие емкости;

$C_{вхi+1}$  — входная емкость  $i+1$  декады;

$C_{11}$  — емкость для коррекции  $C_{вхi+1}$ .

Значения корректирующих емкостей будем определять на основании равенства эквивалентных емкостей, приведенных к отдельным обмоткам.

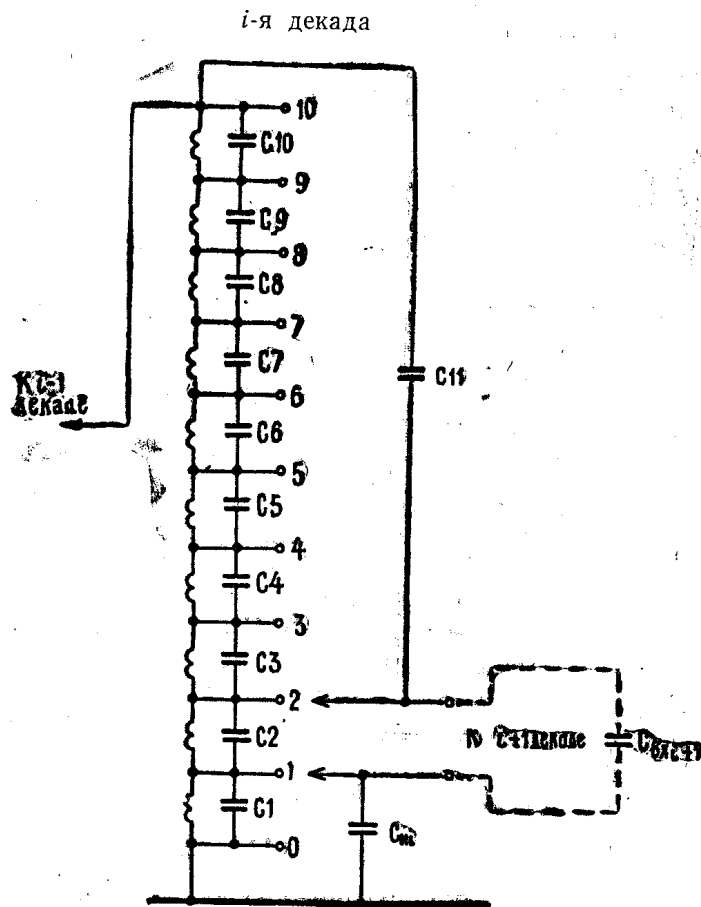


Рис. 1.

Учитывая, что неизвестных десять, а число уравнений, которые можно составить, равно девяти, зададимся отношением:

$$\frac{C_1}{C_{нi}} = a_1. \quad (1)$$

Величину  $a_1$  определим в дальнейшем, исходя из получения минимального значения корректирующих емкостей.

При подключении  $C_{нi}$  к выводу «1»  $i$ -й декады, условие частотонезависимости запишется в виде:

$$\frac{\sum_{k=2}^{10} C_k}{9} = C_1 + C_{нi}. \quad (2)$$

Для вывода «2» указанное условие принимает вид

$$\frac{\sum_{k=3}^{10} C_k}{8} = \frac{\sum_{k=1}^2 C_k + 4C_{нi}}{2}, \quad (3)$$

Аналогично получаем уравнения для других положений переключателя:

$$\frac{\sum_{k=4}^{10} C_k}{7} = \frac{\sum_{k=1}^3 C_k + 9C_{H_i}}{3}; \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{k=5}^{10} C_k}{6} = \frac{\sum_{k=1}^4 C_k + 16C_{H_i}}{4}; \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{k=6}^{10} C_k}{5} = \frac{\sum_{k=1}^5 C_k + 25C_{H_i}}{5}; \quad (6)$$

$$\frac{\sum_{k=7}^{10} C_k}{4} = \frac{\sum_{k=1}^6 C_k + 36C_{H_i}}{6}; \quad (7)$$

$$\frac{\sum_{k=8}^{10} C_k}{3} = \frac{\sum_{k=1}^7 C_k + 49C_{H_i}}{7}; \quad (8)$$

$$\frac{\sum_{k=9}^{10} C_k}{2} = \frac{\sum_{k=1}^8 C_k + 64C_{H_i}}{8}; \quad (9)$$

$$\frac{\sum_{k=10}^{10} C_k}{1} = \frac{\sum_{k=1}^9 C_k + 81C_{H_i}}{9}. \quad (10)$$

Решая (2) и (3) с учётом (1), находим

$$C_2 = C_{H_i}(a_1 - 1,4). \quad (11)$$

Далее решая (3) и (4) с учетом (1) и (11), находим

$$C_3 = C_{H_i}(a_1 - 2,2). \quad (12)$$

Для остальных емкостей

$$\begin{aligned} C_4 &= C_{H_i}(a_1 - 2,4); & C_5 &= C_{H_i}(a_1 - 2); \\ C_6 &= C_{H_i}(a_1 - 1); & C_7 &= C_{H_i}(a_1 + 0,6); \\ C_8 &= C_{H_i}(a_1 + 1,8); & C_9 &= C_{H_i}(a_1 + 5,6); \\ C_{10} &= C_{H_i}(a_1 + 9). \end{aligned} \quad (13)$$

Условие минимальности будет удовлетворено, если положить значение  $a_1$  равное 2,4 (из выражения для определения  $C_4$ ). При этом

$$C_1 = 2,4C_{H_i}; \quad C_2 = C_{H_i}; \quad C_3 = 0,2C_{H_i};$$

$$C_4 = 0, \quad C_5 = 0,4C_{H_i}; \quad C_6 = 1,4C_{H_i};$$

$$C_7 = 3C_{H_i}; \quad C_8 = 5,2C_{H_i}; \quad C_9 = 8C_{H_i};$$

$$C_{10} = 11,4C_{H_i}.$$

При коррекции ИД необходимо, кроме найденных, подключать еще соответствующие емкости, устраняющие влияние собственных емкостей декады, значения для которых приведены в [2].

Для устранения влияния входной емкости последующей декады подключена  $C_{11}$ . Значение ее определим для худшего случая, когда  $i + 1$  декада подключена к выводам 0—1  $i$ -декады.

Непосредственно из рис. 1 определяем

$$C_{11} = \frac{C_{вх_{i+1}}}{9}. \quad (14)$$

Для определения величины  $C_{нi}$  можно воспользоваться соотношением

$$C_{нi} = \sum_{m=1}^{i-1} C_{эm} + C_{н}, \quad (15)$$

где  $C_{эm}$  — значение емкости всех последующих декад относительно экрана;

$C_{н}$  — значение емкости нагрузки ИД.

Проведенный эксперимент подтвердил результаты анализа. Так с помощью рассмотренной коррекции величина частотной погрешности трехдекадного делителя на частоте 100 кГц с величины 0,2% была снижена до  $0,01 \div 0,02\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Образцовые источники переменных напряжений. Отчет по НИР «Веретено», «Витамин», депонированная рукопись, гос. регистр. № 68021571, № 68021579, ВНИИТЭИР, М., 1969.

2. А. И. Крамнюк, М. С. Ройтман. Расширение рабочего диапазона индуктивных делителей. Настоящий сборник.