

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.

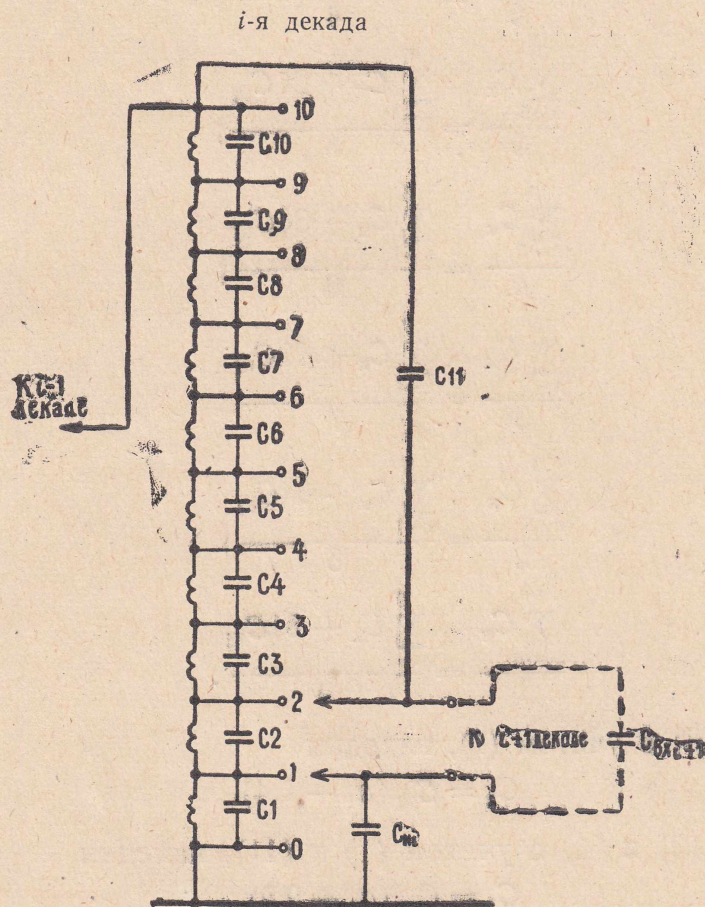


Рис. 1.

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 учетом (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

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

Для определения величины C_{ni} можно воспользоваться соотношением

$$C_{ni} = \sum_{m=1}^{i-1} C_{\varepsilon_m} + C_n, \quad (15)$$

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

C_n — 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», «Витамиш», депонированная рукопись, гос. регистр. № 68021571, № 68021579, ВНИИТЭИР, М., 1969.

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