

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

к.т.н. Г.И. Лагутин, В.А. Климчук, Ю.А. Кусакин
(представил д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

Даются рекомендации по оценке кондуктивных помех в радиоэлектронных системах, которые вызваны ЭДС самоиндукции, взаимной индукции и электрическими полями.

Анализ современных радиоэлектронных средств (РЭС) показывает, что одним из основных источников кондуктивных помех в них являются источники вторичного электропитания импульсного типа (ИПИТ). Все более широкое применение ИПИТ обусловлено их высокими энергетическими показателями, малыми габаритами, возможностью осуществления раздельного питания, а их совершенствование идет по пути повышения частоты переключения (1 МГц и более) и, следовательно, увеличения КПД.

В то же время использование таких ИПИТ приводит к повышению уровня кондуктивных помех, что может неблагоприятно сказаться на работе РЭС.

Кроме кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП), обусловленной использованием импульсных источников тока, в РЭС существуют также внутрисистемные симметричные и несимметричные кондуктивные помехи.

Симметричные напряжения $U_{\text{СМ}}$ создают симметричный ток $I_{\text{СМ}}$, протекающий по прямому и обратному проводам в противоположных направлениях, несимметричные напряжения $U_{\text{НСМ}}$ создают несимметричные токи $I_{\text{НСМ}}$, протекающие по проводам в одном направлении и замыкающиеся через «землю».

Основные факторы, обуславливающие распространение помех, могут быть следующие: наводки в проводниках при размещении их в электромагнитном поле, оказывающие влияние на другие цепи; гальваническая связь различных цепей через общие сопротивления; электрическое и магнитное поля, формируемые при движении электрических зарядов во всех элементах электрических цепей, в том числе и в проводниках.

Уровни ЭДС, наводимые в проводах РЭС, могут превышать допустимые уровни срабатывания современных дискретных элементов, являющихся основой построения РЭС АСУ и приводить к «сбоям» в их работе.

Передача информации в РЭС как внутри блоков так и в межблочных соединениях производится по кабелям или жгутам обычно в виде импульсов тока. Силовой каскад ИПИТ также наводит импульсные помехи. Поэтому важным является определение ЭДС самоиндукции, вызванной импульсами тока. Эта ЭДС создает токи в соответствующих цепях, которые и являются одной из составляющих кондуктивных помех.

Оценка ЭДС, вызванной импульсами тока. Эквивалентная схема участка цепи, по которому протекает импульсный ток, представлена на рис.1.

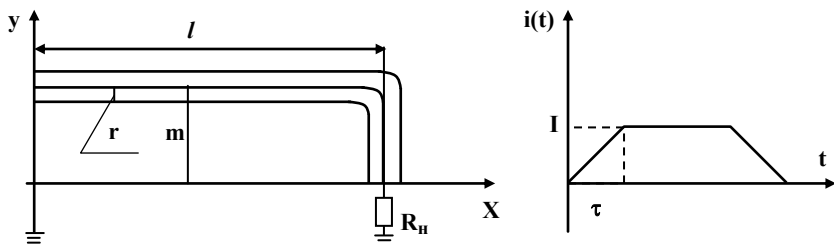


Рис. 1. Определение ЭДС самоиндукции в проводнике конечного сечения при протекании по нему импульсного тока

Для оценки ЭДС самоиндукции в проводнике конечного сечения при протекании в нем импульсного тока (рис.1) была получена формула

$$E_{ИМП} = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot I}{2\pi\tau} \ln \frac{m}{r}, \quad (1)$$

где μ_0 - магнитная постоянная; l - длина проводника; I - значение тока в импульсе; τ - длительность переднего фронта импульса; m - расстояние между проводом и «землей»; r - радиус проводника.

Оценка напряжения помехи, вызванной электрическим полем. Рассмотрим типовой вариант емкостной связи между двумя проводниками, расположенными на некотором расстоянии d . Кроме прямой емкостной связи C между проводниками будет существовать и косвенная емкостная связь между ними и «землей» C_1 и C_2 (рис. 2).

На рис.3 представлены расчетные эквивалентные схемы цепи, показанной на рис.2, с учетом различного диапазона частот основного источника тока.

Принимая допущение, что $Z_{И2} = Z_{И2}$, а $\frac{1}{\omega C} \gg Z_{И1}$, найдем напряжение помехи, наведенное в другом проводнике, с помощью полученных нами формул

$$U_{пом.с} = U_{И} \frac{Z_{\omega C_2}}{Z_{\omega(C+C_2)} - j2} \quad (2)$$

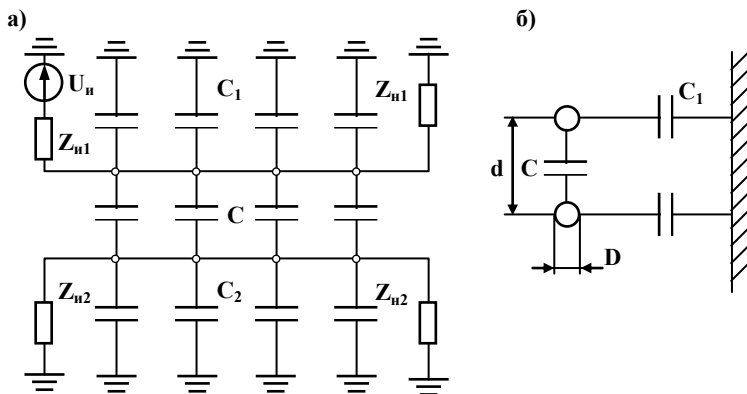


Рис. 2. Емкостная связь между проводниками (а - вид сбоку; б - вид с торца)

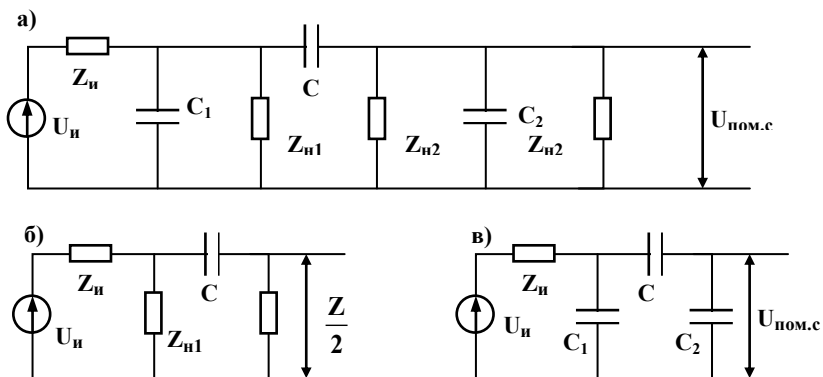


Рис. 3. Эквивалентные расчетные схемы для определения напряжения помехи из-за емкостной связи между проводниками (а - общая; б - на низких частотах; в - на высоких частотах)

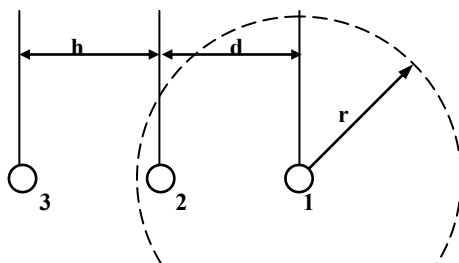


Рис.4. Определение магнитной связи между источником помехи (проводник 1) и приемниками (проводники 2 и 3)

при низких частотах (рис. 3б):

$$U_{\text{пом.с}} = U_{\text{н}} \frac{Z_{\text{в}}C}{2} (Z_{\text{в}}(C + C_2) \ll 2) \quad (3)$$

и при высоких частотах (рис. 3в):

$$U_{\text{пом.с}} = U_{\text{н}} \frac{C}{C + C_2} (Z_{\text{в}}(C + C_2) \gg 2), \quad (4)$$

где $C \approx \frac{\pi \epsilon}{\ln(2d/D)}$.

По кабелям или жгутам может передаваться энергетическая мощность в десятки «+» дБм частотой от 50 Гц до 30 и более кГц. В то же время кабели и жгуты используются для передачи информационных сигналов, мощность которых составляет десятки «-» дБм с частотами в десятки МГц. При таком большом перепаде уровней передаваемой мощности неизбежно влияние мощных цепей на маломощные. Поэтому важным, необходимым и актуальным является вопрос об определении уровня внутрисистемных помех, создаваемых токами, протекающими по кабелям и жгутам.

Оценка ЭДС взаимоиנדукции между проводниками. Рассмотрим взаимодействие двух проводников 2 и 3, являющихся приемниками помех и находящимися в магнитном поле проводника 1, который представляет собой источник помехи (рис. 4). Заметим, что

$$\int_0^{2\pi r} \mathbf{H} dl = I, \quad (5)$$

где \mathbf{H} – напряженность магнитного поля вокруг проводника, по которому протекает ток I .

На расстоянии r от токонесущего проводника напряженность магнитного поля равна

$$\mathbf{H} = I / 2\pi r. \quad (6)$$

Для системы проводников в соответствии с законом электромагнитной индукции в проводниках 2 и 3 будут индуцироваться ЭДС, значения которых определяются по формулам:

$$\begin{aligned} E_{2\text{мпом}} &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu l}{2\pi} \left(\frac{d+h_2}{d} \right) \frac{dI}{dt} = \mu_0 l f \ln \left(\frac{d+h_2}{d} \right); \\ E_{3\text{мпом}} &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu l}{2\pi} \left(\frac{d+h_3}{d} \right) \frac{dI}{dt} = \mu_0 l f \ln \left(\frac{d+h_3}{d} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где l – длина проводника; h_2 или h_3 – расстояние между проводниками 2, 3 и «землей», соответственно; μ_0 – магнитная постоянная; f – частота

тока; d - расстояние между проводником – источником помехи 1 и проводниками - приемниками 2 и 3.

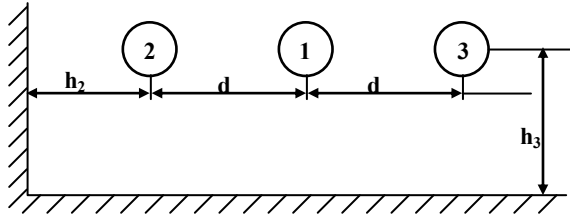


Рис. 5. Определение ЭДС в приемниках помехи (проводники 2 и 3), расположенных на различных расстояниях от «земли»

Согласно (7) ЭДС E , наведенная в рассматриваемой цепи, увеличивается при увеличении магнитной проницаемости, длины цепи и уменьшается при разнесении проводов на расстояние $d \gg h_2, d \gg h_3$ (рис. 5).

Суммарное напряжение $U_{\text{пом}}$ на электроприемнике одного из двух рядом расположенных контуров (рис. 6), один из которых принимается

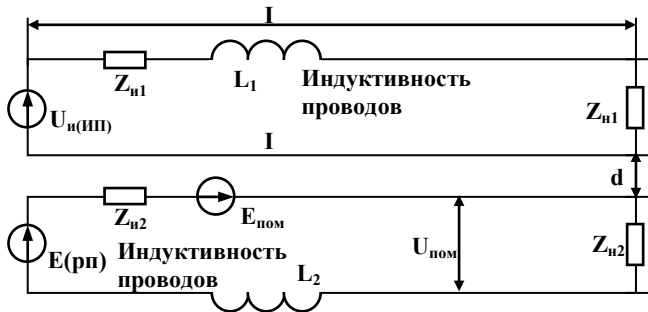


Рис. 6. Определение общего напряжения электромагнитной помехи

за источник помехи (ИП), а другой – за приемник помехи (РП), можно оценить из выражения:

$$U_{\text{пом}} = \frac{Z_{н2} E_{\text{пом}}}{Z_{н2} + Z_{н2} + j\omega L_2} = \frac{Z_{н2} E_{\text{пом}}}{Z_{н2} + Z_{н2}} \quad \text{при } \omega L_2 \ll Z_{н2} + Z_{н2};$$

$$U_{\text{пом}} = \frac{Z_{н2} E_{\text{пом}}}{2\pi f L_2} \quad \text{при } \omega L_2 \gg Z_{н2} + Z_{н2},$$

где $E_{\text{пом}} = E_{\text{мпом}} + U_{\text{пом.с}} + E_{\text{мпм}}$.

Таким образом, для оценки напряжения помехи ($U_{\text{пом.}}$) на электроприемнике нужно учитывать:

- ЭДС $E_{\text{мпом.}}$, вызванную взаимным влиянием близко расположенных проводников;
- напряжение помехи ($U_{\text{пом.с}}$) из-за емкостной связи между проводниками;
- ЭДС взаимной индукции ($E_{\text{имп}}$) при протекании в проводнике импульсного тока.

Исследование кондуктивных помех показывает, что задача их анализа крайне затруднена из-за обилия вариантов схемных построений РЭС и построения силовых каскадов ИПИТ.

Оценка индуктивных помех для типовых вариантов показывает, что уровни электромагнитных помех на электроприемниках могут минимум на порядок превышать допустимые уровни помех для РЭС, выполняющих ответственные операции.

Следовательно, для оценки реальной электромагнитной обстановки и выдачи рекомендаций по защите радиоэлектронных средств от ложных срабатываний и предотвращение утечки информации, на наш взгляд, необходимо создание метрологического комплекса, осуществляющего измерение как симметричной, так и несимметричной кондуктивной помехи, а также электрической и магнитной составляющих помехи электромагнитного поля.

Создание такого комплекса является актуальной научно - технической задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Векслер Г.С. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания. – К.: Техника, 1990. – 167 с.
2. Гурвич И.С. Защита ЭВМ от внешних помех. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
3. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.

Поступила в редколлегию 18.12.2000
