

Матрицу $T(\omega)$ можно рассматривать как матрицу преобразования сигналов. Новые сигналы имеют вид

$$\bar{S}'_x(\omega) = T(\omega)\bar{S}_x(\omega), \quad \bar{S}'_y(\omega) = T(\omega)\bar{S}_y(\omega). \quad (6)$$

На основе (5) и (6) получим

$$\bar{S}'_y(\omega) = D(\omega)\bar{S}'_x(\omega), \quad (7)$$

где $D(\omega) = \text{diag}\{d_1(\omega), d_2(\omega), \dots, d_m(\omega)\}$.

Уравнение (7) устанавливает связь между входными и выходными спектральными плотностями "развязанной" системы, которая эквивалентна исходной многосвязной системе.

Используя уравнение (1) и определяя $\bar{D}(\omega)$, получим асимптотики для матрицы преобразования $\bar{T}(\omega)$ и для преобразованных сигналов

$$\bar{S}'_x(\omega) = \bar{T}(\omega)\bar{S}_x(\omega), \quad \bar{S}'_y(\omega) = \bar{T}(\omega)\bar{S}_y(\omega), \quad (8)$$

которые действуют в "развязанной" асимптотически эквивалентной системе.

Полученные асимптотически эквивалентные матрицы рекомендуются для их использования при анализе многосвязных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арешян Г.Л. Энергетические матрицы многосвязных систем // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1996. - Т. 49, № 1. - С. 32-36.
2. Восводян В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. - М.: Наука, 1984. - 318 с.

ГИУА

10.11.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. L. № 2, 1997, с. 114 - 119.

УДК 628.314

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В.М. МОВСЕСЯН, Г.В. БАРЕГАМЯН, Н.Н. ПЕТРОСЯН,
А.Ш. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ИСТОЧНИКАХ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Նետազոտվում են միջանկյալ բարձր հաճախականային կերպափոխիչով երկրորդային ուժանի աղբյուրներում մագնիսական տարրերի (տրանսֆորմատորներ, դրոսելներ), էլեկտրամագնիսական ճառագայթումները: Նկարագրված են էլեկտրամագնիսական խանգարումների չափման եղանակները և միջոցները: Նետազոտված է էլեկտրամագնիսական ճառագայթումների ճնշման նպատակով տարբեր նյութերից պատրաստված էկրանային ծածկույթների օգտագործման արդյունավետությունը: Բերվում են երկրորդային էլեկտրասնուցման աղբյուրներում էլեկտրամագնիսական հաստատելիության ապահովման գործնական առաջարկություններ:

Исследуются электромагнитные излучения от магнитных компонентов (трансформаторы, дроссели) источников вторичного электропитания с промежуточным высокочастотным преобразователем. Описаны средства и методика проведения измерений электромагнитных помех. Исследована эффективность

применения экранированных покрытий из магнитных и немагнитных материалов для подавления электромагнитного излучения. Приводятся практические рекомендации для обеспечения электромагнитной совместимости компонентов источников вторичного электропитания.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

Electromagnetic interferences caused by magnetic components (such as transformers, chokes) of secondary power supplies with an intermediate high frequency converter are explored. The means and methods of electromagnetic interference measurements are described. Efficiency of screen coating application involving magnetic and nonmagnetic materials for suppressing electromagnetic irradiations is investigated. Suggestions for providing electromagnetic compatibility with secondary power supply components are given.

1/1 4, Ref. 3.

Одним из актуальных направлений современной силовой электроники является создание эффективных и экономичных источников вторичного электропитания (ИВЭП), предназначенных для питания средств вычислительной техники и радиоэлектронных систем. В теории и проектировании ИВЭП вопросы исследования электромагнитной совместимости (ЭМС) отдельных его компонентов изучены недостаточно полно.

В данной работе ставится задача исследования ЭМС ИВЭП с целью выработки средств и методов эффективного снижения уровня электромагнитного излучения отдельных компонентов ИВЭП. Это дает возможность повысить надежность самих ИВЭП и улучшить электромагнитную обстановку окружающей среды.

Коммутационные процессы в узлах ИВЭП, наличие магнитных элементов в высокочастотных цепях вызывают в окружающей среде нестационарные и/или периодические импульсные электромагнитные поля помех, которые излучают импульсные токи и напряжения в слабосигнальных цепях управления и могут являться причиной сбоев в работе ИВЭП. Для локализации действия электромагнитного поля, создаваемого источником поля, и защиты узлов ИВЭП от их влияния, применяются экраны. По принципу действия различают электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное экранирование [1-3]. Первые два, действующие по принципу замыкания соответствующих полей, вследствие повышенной электро- и магнитопроводимости материалов экранов эффективны лишь в области низких частот. Действие электромагнитных экранов может быть представлено как многократное отражение электромагнитных волн от поверхности экрана и затухание энергии в толще металлического экрана, которое обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металле.

Импульсные электромагнитные помехи оцениваются амплитудами напряженности электрического и магнитного полей, длительностью импульсов и их фронтов, вольт-секундной площадью и частотными спектрами. Для количественной оценки эффективности экранирования используется ряд параметров [3], основные из которых:

— коэффициент экранирования C , равный отношению амплитуды напряженности электрического поля E_1 (или магнитного H_1) в какой-либо точке пространства (вблизи экрана) к амплитуде напряженности E (или H) поля в этой же точке в случае, если бы экран отсутствовал, т.е.

$$C_e = E_1 / E, \quad C_H = H_1 / H; \quad (1)$$

— экранное затухание, которое определяется как величина, обратная коэффициенту экранирования. В логарифмическом масштабе оно определяется следующим образом:

$$S = 20 \lg(1/C). \quad (2)$$

Следует отметить, что электромагнитное поле воздействует на окружающую среду не само по себе, а в результате наведенных в цепях аппаратуры импульсных напряжений помех. Поэтому достаточно измерять напряжения, наведенные в некоторых регламентированных видах антенн.

Общая структурная схема измерителя электромагнитных помех в ИВЭП представлена на рис. 1. Основными элементами измерителя являются рамочная антенна А и регистрирующее устройство (осциллограф Осц или цифровое регистрирующее устройство ЦРУ с преобразователем). ЭДС, наведенная электромагнитным полем в витках антенны, определяется следующим образом:

$$e = n \mu \mu_0 Q dH/dt, \quad (3)$$

где n — количество витков; Q — площадь витка; μ — магнитная проницаемость сердечника; μ_0 — магнитная постоянная.

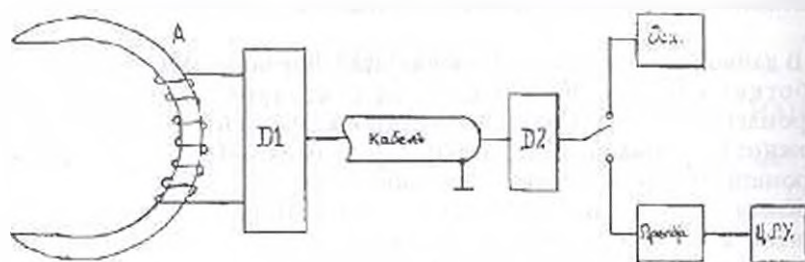


Рис. 1. Структурная схема измерительной цепи

Если индуктивное сопротивление антенны намного больше сопротивления нагрузки, то форма изменения во времени тока в витках антенны, а следовательно, и форма напряжения на нагрузке сравнима с формой приложенного импульсного магнитного поля $H(t)$:

$$i(t) = n \mu \mu_0 Q H(t) / L_a, \quad (4)$$

где L_a — индуктивность антенны.

Делители Д1 и Д2 (рис. 1) служат для согласования выхода антенны с кабелем и кабеля со входом измерительного прибора. Достоверность результатов экспериментального измерения электромагнитных помех в ИВЭП в значительной степени зависит от стойкости измерительной аппаратуры к воздействиям электромагнитных полей. Для этого измерительная аппаратура размещается в экранированной камере или на некотором расстоянии от ИВЭП.

Экспериментальные исследования проводились на макете ИВЭП с высокочастотным резонансным инвертором, упрощенная схема которого представлена на рис. 2. В основном были исследованы электромагнитные излучения в выходных трансформаторах драйверов (ТУ1, ТУ2), сигналы которых имеют крутые фронты, являющиеся причиной высокочастотных составляющих в спектре электромагнитного излучения; дросселе L3, сигнал которого имеет форму кратковременных пиков с большой амплитудой;

дросселях L1, L2 и выходном силовом трансформаторе, сигналы которых имеют форму, близкую к синусоидальной. Измерения электромагнитных помех проводились с помощью датчиков (антенн) двух типов: катушка, намотанная на ферритовом кольце (М2000НМ1) с внешним диаметром 1 см и с зазором в сердечнике 0,5 мм; катушка без сердечника. Датчики первого типа использовались при исследовании излучений с малыми амплитудами, датчики второго типа — при исследовании излучений с большими амплитудами (при испытании дросселя L3). Измерения проводились с помощью осциллографа С1-102, имеющего частотную полосу до 10 МГц. Основная частота переключения силовых ключей инвертора составляла 66 КГц. Верхняя частота спектров сигналов оценивалась по фронтам импульсных сигналов и составляла 3 МГц. На экране осциллографа контролируются два сигнала: ток в испытуемом образце и сигнал от датчика (измерителя помех). Идентичность форм и временных параметров этих двух сигналов в случае испытания образца без экранного покрытия свидетельствует о корректности измерений.

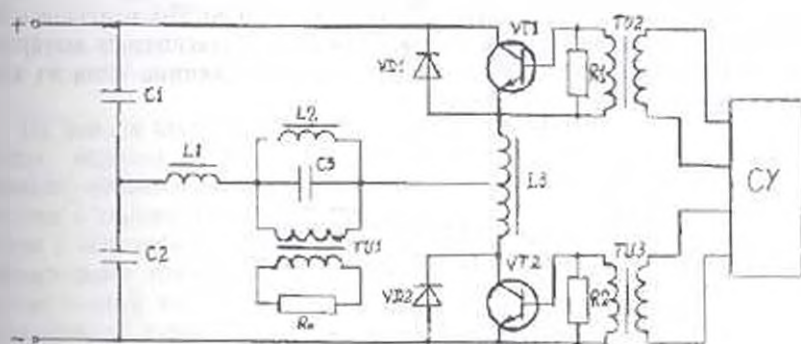


Рис. 2. Электрическая схема ИВЭП

Главная цель проведенных испытаний заключалась в оценке эффективности экранных покрытий из разных материалов (медь, никель, алюминий и их композиции); эффективности экранирования при различных толщинах экранного слоя; частотных свойств электромагнитных помех и экранных покрытий.

Для цифровой обработки результатов измерений сигналы дискретизировались по времени с интервалом $\Delta t \geq 1/2F_{\max}$, максимальная частота $F_{\max}$ в спектре сигнала оценивалась по минимальной длительности фронтов: $F_{\max} = 1/t_{\text{фронт}}$. Расчет спектров производился по алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ). По БПФ определялись оценки комплексного спектра сигнала $x(t)$: $S_x(jf) = \text{Re}(f) + j \cdot \text{Im}(f)$. Далее вычислялись оценки энергетического спектра: $S_{xx}(f) = \text{Re}^2(f) + \text{Im}^2(f)$ и амплитудного спектра: $A(f) = \sqrt{S_{xx}(f)}$, а также затухание на каждой частоте по формулам (1), (2).

Результаты экспериментальных исследований для дросселя L3 (рис. 1) с различными экранными покрытиями представлены на рис. 3, 4. Амплитудный спектр сигнала для случая без экранного покрытия представлен на рис. 3 (кривая 3). Из спектра видно, что сигнал содержит составляющие со значительными амплитудами на частотах до 1,5 МГц.

Широкополосность сигнала позволяет судить об эффективности экранов в разных диапазонах частот. На рис. 3 (кривая 1) показана зависимость экранного затухания от частоты в случае покрытия из меди толщиной 50 мкм. В диапазоне до 0,6...0,7 МГц затухание заметно растет вместе с частотой. Эта тенденция еще более заметна в случае экранного покрытия из алюминия (рис.3, кривая 2, толщина покрытия - 90 мкм). На рис. 4 (кривая 3) представлена зависимость затухания от расстояния до источника излучения. Зависимости затухания от толщины слоя экранного покрытия (рис. 4, кривая 1 - для меди, кривая 2 - для алюминия) показывают, что в рассмотренном частотном диапазоне затухание растет вместе с толщиной покрытия, однако с некоторого значения (например, для меди толщиной 50 мкм) дальнейшее увеличение толщины имеет незначительное влияние.

Были исследованы также экранные покрытия из никеля. Исследования показали, что применение никеля в качестве экранного покрытия для магнитных элементов ИВЭП неэффективно. Например, для выходных трансформаторов драйверов (ТУ2, ТУ3 на рис. 2) экранное покрытие из никеля толщиной в 50 мкм дает затухание в 4,86 дБ, тогда как медный экран такой же толщины дает затухание 26 дБ. Исследовались также экраны с чередованием слоев из магнитных и немагнитных материалов: никель и медь. Исследования показали, что добавление слоя из никеля практически не влияет на затухание.

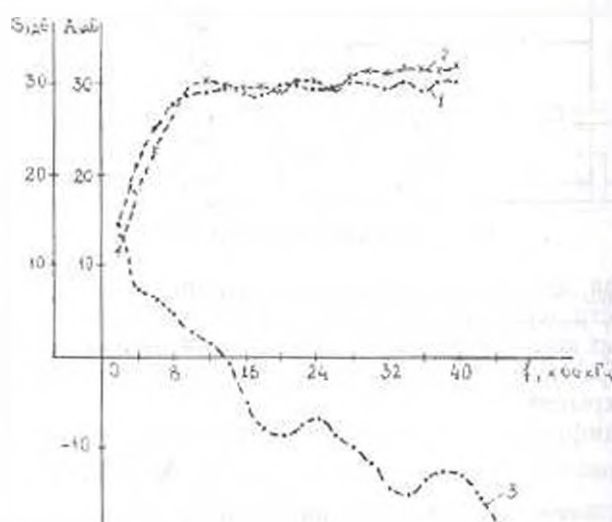


Рис. 3. Зависимости затухания S от частоты излучения (кривые 1 и 2) и частотный спектр излучения A (кривая 3)

Сравнение параметров затухания от расстояния датчика до источника электромагнитного излучения с затуханием от применения экранных покрытий (рис. 4) показывает, что удаление приемника от дросселя $L3$ на расстояние $l = 25...30$ мм эквивалентно применению экрана из меди толщиной 50 мкм. Следовательно, в случаях, когда плотность размещения элементов (т.е. габариты) ИВЭП не является определяющей, можно обеспечить ЭМС магнитных компонентов разумным удалением их друг от друга. В случаях плотного размещения компонентов единственным эффективным средством достижения ЭМС является применение экранных покрытий.

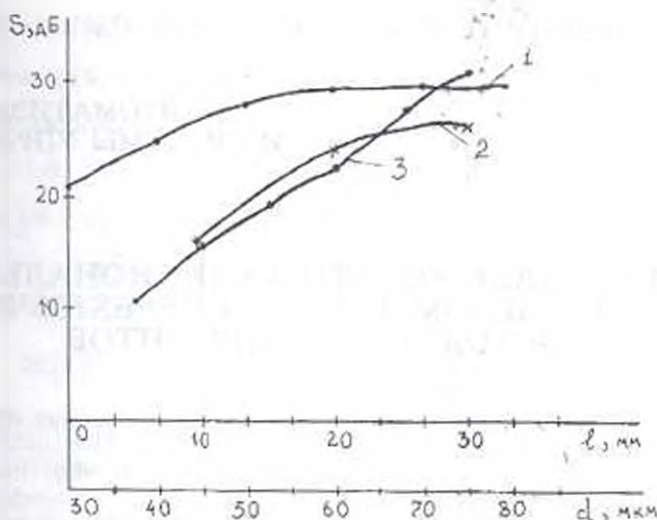


Рис. 4. Зависимости затухания S кривые 1 и 2 - от толщины экрана d ; кривая 3 - от расстояния l от источника излучения до измерителя

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы: экраны с большей удельной электропроводностью (медь, алюминий) намного эффективнее, чем экраны из магнитных материалов; затухание в экране растет в зависимости от толщины покрытия, однако, начиная с некоторого значения, дальнейшее увеличение толщины имеет незначительное влияние на затухание; для магнитных элементов ИВЭП с промежуточной частотой преобразования порядка 40...100 кГц можно рекомендовать экранные покрытия из меди или алюминия с толщиной примерно 50 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кравченко В.И., Болотол Е.А., Летунов Н.И. Радиозлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. - М.: Радио и связь, 1987. - 256 с.
- 2 Laloré D. Déparasitage à la source des convertisseurs de puissance // Revue général d'Electricité. - 1986. - №2. - P. 23-28.
- 3 Источники электропитания радиозлектронной аппаратуры / Под ред. Г.С. Найвельта. - М.: Радио и связь, 1986. - 576 с.

ПИУА

14.10.1996