

ЛИТЕРАТУРА

1. Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – Note 41. – July 8, 2014.
2. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility // Special Issue on high-power electromagnetic (HPEM) and intentional electromagnetic interference (IEMI). – August 2004. – Vol. 46, No. 3.
3. Thottappillil R., Mansson D., Backstrom M. Response of electrified railway facilities to intentional electromagnetic interference // In Electromagnetic Compatibility, 2008; Asia-Pacific Symposium on. – 2008. – P. 291–294.
4. ITU. High-power electromagnetic immunity guide for telecommunication systems // In K. 81 ed. – 2009.
5. Sabath F., Garbe H. Risk potential of radiated HPEM environments // EMC 2009. IEEE International Symposium on. – 2009. – P. 226–231.

АКТУАЛЬНОСТЬ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ ФИЛЬТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

*Р.А. Сайтқулов, магистрант каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, grue95@gmail.com*

Фильтры электромагнитных помех (ЭМП), которые изготавливаются из резисторов, конденсаторов и индуктивностей, являются наиболее подходящим решением для уменьшения кондуктивных электромагнитных эмиссий. Существует ряд факторов, из-за которых может изменяться температура пассивных компонентов: внутренние потери энергии, нагрев печатной платы, нагрев окружающего воздуха, вызванный другими компонентами или изменением температуры окружающей среды. В работе [1] представлены важные результаты по влиянию температуры на работу фильтров ЭМП, показывающие актуальность его учета в проектировании фильтров ЭМП в критичной аппаратуре.

Цель работы – обратить внимание читателя на актуальность учета влияния температуры на работу фильтра ЭМП по результатам [1].

Для определения поведения параметров компонентов фильтра ЭМП используется векторный анализатор цепей (ВАЦ). Для изменения температуры компонентов при испытании используется термокамера. На рис. 1 приведена структурная схема установки для измерения модуля импеданса конденсатора при изменении температуры и зависимость модуля его импеданса, полученного из S -параметров, от частоты при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

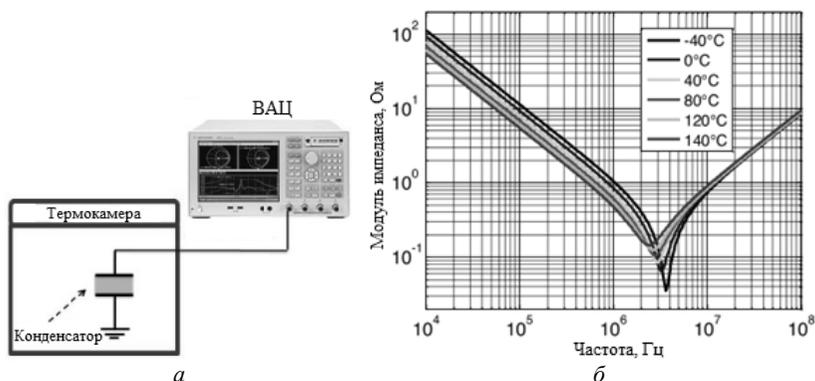


Рис. 1. Структурная схема установки (а), модуль импеданса при изменении температуры (б)

Из рис. 1 видно, как влияет температура на конденсатор. При изменении температуры от -40 до 140 °С кривая модуля импеданса существенно сдвигается, так как различные электрические параметры конденсатора чувствительны к температуре и имеют значительное отклонение от номинального значения согласно изменениям температуры окружающей среды.

На рис. 2 приведены методы измерения импедансов катушки индуктивности, а на рис. 3 – результаты измерений. Из рис. 3 видно, что кривые модуля импеданса в конфигурациях (а) и (б) (импеданс намагничивания и синфазный режим) значительно смещаются с увеличением температуры. Это связано с комплексной проницаемостью магнитного сердечника (Mn-Zn-феррит), очень чувствительной к температуре.

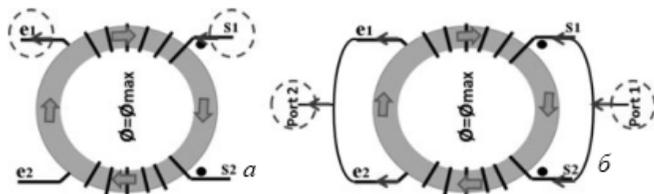


Рис. 2. Методы измерения импедансов индуктивности

Для проверки эффективности подавления кондуктивных электромагнитных эмиссий в системах силовой электроники в соответствии с авиационным стандартом DO160F, разработанная модель фильтра ЭМП установлена между эквивалентом сети, представляющим электрическую нагрузку, и моделью преобразователя, которая

воспроизводит частотное поведение кондуктивных эмиссий. Она состоит из эквивалентных источников синфазного и дифференциального напряжения с их импедансами в синфазном и дифференциальном режимах. Эквивалент сети представлен импедансом Z_0 . Уровень кондуктивных электромагнитных эмиссий, вызванных синфазным и дифференциальным напряжениями при нескольких значениях температуры, показан на рис. 4.

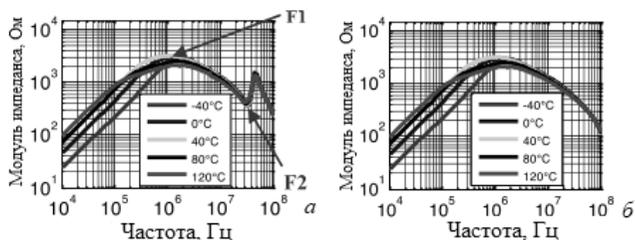


Рис. 3. Влияние температуры на импедансы катушек индуктивности

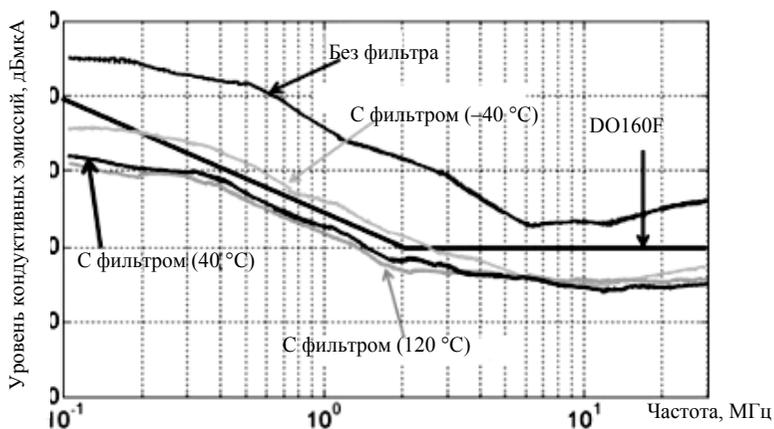


Рис. 4. Влияние температуры фильтра ЭМП на кондуктивные эмиссии

Общий уровень эмиссий, измеренный при помощи эквивалента сети без добавления фильтра электромагнитных помех, превышает максимальный уровень, требуемый стандартом DO160F. С фильтром ЭМП уровень эмиссий ниже заданного стандартом предела при 40 и 120 °С, но несколько выше в диапазоне частот от 200 кГц до 3 МГц при -40 °С. Это связано с изменением затухания фильтра ЭМП в соответствии с температурой.

Примечательно, что существует частотная точка (6 МГц) нулевой чувствительности уровня эмиссий к изменению температуры. Кроме

того, в небольшом диапазоне после этой точки (в области 10 МГц) уровень эмиссий при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как почти во всем диапазоне ниже 3 МГц уровень был выше почти на 10 дБ.

Таким образом, в зависимости от того, как температура влияет на компоненты, составляющие фильтр ЭМП, изменение температуры может улучшить или ухудшить ослабление уровня кондуктивных эмиссий. Это также делает актуальным повышение точности учета влияния температуры на частотные характеристики компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hani F., Boulzazen H., Kadi M. High-frequency characterization and modeling of EMI filters under temperature variations // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – Dec. 2017. – Vol. 59. – No. 6. – P. 1906–1915.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕАНДРОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

Е.А. Сердюк, студент; А.В. Носов, аспирант

Научный руководитель Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, serduk.10@mail.ru

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) является неотъемлемым компонентом практически всех сфер деятельности человека. Поэтому от ее бесперебойной работы зависит безопасность каждого человека и современного общества в целом. В связи с высокой плотностью монтажа межсоединений на печатной плате, уменьшением рабочих напряжений устройств и возрастающей верхней граничной частотой спектра используемых сигналов при проектировании РЭА необходимо особое внимание уделять электромагнитной совместимости (ЭМС). Одной из задач ЭМС является обеспечение защиты РЭА от электромагнитных воздействий, которые могут быть вызваны перенапряжением, природными явлениями (вторичное проявление разряда молнии) или являться результатом преднамеренных действий человека в террористических целях. Особую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ) наносекундного и субнаносекундного диапазонов. Такие СКИ способны проникать внутрь РЭА и выводить ее чувствительные цифровые цепи из строя. Существующие устройства защиты зачастую неспособны обеспечить должной защиты от таких воздействий в силу недостаточного быстродействия и малой мощности [1]. Поэтому по-прежнему остается актуальным поиск новых эффективных устройств защиты РЭА от СКИ.

В этой связи предложен простой подход к защите РЭА, основанный на разложении СКИ в витке меандровой линии задержки за счет