

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ: ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ

Авторы: Eduard G. Kurenniy, Elena N. Dmitrieva

Перевод: Петров А.Э.

Источник: 1996 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering

Описание проблемы

Обычные показатели электромагнитной совместимости (ЭМС) являются справедливыми, как правило, для частных видов помех, например, стационарных или периодических. Однако проблема оценки колебаний напряжения показала, что такой оценки недостаточно и она неточна. Было предложено обосновывать показатели на моделях влияния освещения колебаний на людей. [1, 2] Мы считаем, что другие показатели ЭМС в XXI веке будут развиваться аналогично. В настоящей работе приводятся примеры, чтобы показать эффективность такого подхода.

Принципы моделирования

Поскольку электрическая система страдает от последствий искажения ЭМС, а не от параметров помех, оценка ЭМС должна быть основана на модели влияния помех на электрические системы, сети и людей. Модель объекта должна быть достаточно простой для практического применения, обладая при этом основными свойствами этого объекта, такими как реакция $y(t)$, помеха $u_n(t)$ и инерция. Модель должна включать в себя следующие блоки: блок, выделяющий помеху из входного процесса $u(t)$ (1), фильтр, моделирующий реакции (2), квадратор для возведения реакции в квадрат (влияние помехи зависит от мощности реакции объекта) (3) и блок для моделирования инерции (4). Поскольку процесс на выходе блока 3 прямо или косвенно отражает искажения ЭМС, то изменения его амплитуды – это текущие значения динамического показателя ЭМС.

Инерцию объекта с инерционной постоянной T можно легко моделировать с помощью инерционного сглаживания

$$T\psi_T'(t) + \psi_T(t) = y^2(t) \quad (1)$$

или скользящего осреднения (осреднение на интервале):

$$\psi_0(t) = \int_{t-0}^t y^2(t) dt \quad (2)$$

на промежутке времени θ (окно Дирихле). Функции ψ_T и ψ_θ будут передаваться как доза инерции и суммарная доза соответственно.

Если изменения помехи малы, то фильтр (блок 2) можно линеаризовать, и если средняя реакция велика, блок 3 может быть опущен.

Нормы, измерения и расчёты

Нормы ЭМС должны быть установлены на основе допустимой реакции объекта на помеху. Это обычно применяется для простых видов помех, таких, как постоянная, когда достаточно знать амплитуду помехи, или периодическая, когда необходимо также знать частоту. Тем не менее, неизбежно возникает проблема выравнивания сложных и простых типов помех. Очевидно, что это невозможно сделать без использования модели ЭМС. Стандартный динамический показатель (стандартная доза ψ) определяется как для простых, так и сложных типов помех. Таким образом, модельный подход позволяет обобщить используемые в настоящее время стандарты для любого типа помехи.

Однозначные, точные и значимые оценки ЭМС достигаются тогда, когда структурная схема ЭМС (как и в [1]) является стандартизированной, и измерительные приборы имеют ту же структуру, что и модель. Используемые в настоящее время стандарты для показателей ЭМС применяются для калибровки. Несмотря на сложность устройства, оценка ЭМС стала простой, поскольку значение показателя наблюдается непосредственно. Необходимо стандартизировать требования к точности воспроизведения функции частоты и функций передачи блоков модели.

Динамические показатели одного источника помех следует оценивать эмпирически или теоретически. Показатели для множества источников помех могут быть получены с использованием методов теории вероятностей. Использование динамических показателей может упростить расчёты.

Напряжение несимметрии

Несимметрия напряжения приводит к дополнительному нагреву электрических систем. В настоящее время существуют нормы допустимой несимметрии напряжения – коэффициент несимметрии K_2 (соответствующий величине напряжения обратной последовательности U_2) и период времени θ_2 , в течение которого превышает допустимый K_2 [3]. Эти показатели являются единственно правильными для медленно изменяющихся помех, когда длительность помехи больше, чем нормируемое θ_2 .

Для того, чтобы обобщить для любого типа помехи, целесообразно использовать динамический показатель, обобщённый коэффициент асимметрии $k_{2\theta}$. Соответствующая модель состоит из двух блоков: блока 1 выделения действующего значения U_2 из напряжения $u(t)$, а блок 4 выполняет

кумулятивное преобразования (2) процесса $U_2(t)$ на отрезке θ_2 . Допустимый предел k_{20} равен K_2 .

Характер этой проблемы требует, чтобы другие модели, включающие три блока и блок 4 инерционного сглаживания (1), могли быть использованы на интервале $T_2 = q_2 / 3$. Доза инерции ψ_{T2} в относительных единицах соответствует температуре.

Используя дозу, можно минимизировать требования к ЭМС, и, следовательно, минимизировать дополнительные расходы на стабилизацию ЭМС. Без учёта инерции объекта несимметрия должна быть оценена на основании максимального текущего значения K_{2max} . Из-за сглаживания (1) или осреднения (2) максимальное значение дозы меньше, чем K_{2max} .

Несинусоидальность напряжения

Обычные показатели ЭМС в основном связаны с конкретными случаями периодической помехи или искажениями формы синусоиды. Введём систему более общих показателей:

- коэффициент инерции несинусоидальности отражает дополнительный нагрев объектов с активной проводимостью;
- динамический коэффициент несинусоидальности отражает дополнительный нагрев объектов с ёмкостной проводимостью (конденсаторов, изоляции т.д.);
- коэффициенты низкочастотного моделирования помехи, влияющие на объекты, которые чувствительны к помехам, близким к гармоническим частотам;
- доза несинусоидальности оценки энергии отклонения от синусоиды свои очертания в течение определенного периода времени (например, продолжительность импульса триггер).

В отличие от обычных показателей наши неизменны для любого рода помех и учитывают инерцию объектов.

Модель для активной проводимости имеет только один блок выделения из искаженной синусоиды, блоки 3 и 4 кумулятивного осреднения. Норма коэффициента инерции несинусоидальности равна норме коэффициента несинусоидальности, рассчитываемой по действующим значениям напряжения гармоник.

Модель ёмкостной проводимости должна также включать модуль 2, который моделирует ток в реальном конденсаторе. Норма для динамического коэффициента несинусоидальности устанавливается по допустимым перегрузкам конденсатора в течение определённого периода времени, например, 30% в течение 3-5 мин. В случае периодической помехи v -й гармоники с амплитудой U_v , это условие может быть выражено в относительных единицах:

$$\sqrt{1 + \sum v^2 U_v^2} \leq 1,3, \quad (3)$$

откуда значение динамического коэффициента несинусоидальности равно $\sqrt{\sum v^2 U_v^2}$.

Колебания напряжения

Колебания освещённости является причиной дополнительной усталости у людей, что снижает их производительность и может привести к проблемам со здоровьем. Таким образом, динамическая модель (flickermeter) является моделью усталости. Модели, описанные в [1], соответствует такому критерию достаточно хорошо. Его недостатком является то, что полоса пропускания характеристик фильтра не соответствует экспериментальным данным на низких частотах. Во избежание занижения требований на частотах, $f=0,5$ Гц используются фиксированные значения колебаний напряжения (0,514%).

Мы считаем, что причиной этого является отсутствие учёта медленной адаптации зрения. Мы предложили включить в flickermeter блок медленной адаптации, который представляет собой реальное устройство дифференциатора с коэффициентом усиления 0,09 и постоянной времени 70 с [3]. Этот дополнительный блок устраняет упомянутый выше недостаток.

Кроме того, на основе экспериментов, выполненных вместе с В.М.Ковальчуком, мы предлагаем оценивать усталость с помощью преобразования (2) при $\theta=10$ мин, как в [4]. Это позволит упростить блоки 4 и 5 в [1] и суммирование доз фликера от нескольких источников помех.

Эксперименты по оценке длительности усталости проводились следующим образом. Добровольцам было предложено читать текст, помещённый в рамку, которая была связана с датчиком движения. Было зафиксировано, что добровольцам пришлось корректировать позицию рамки для достижения лучших условий видения. Добровольцам не было известно, когда на лампе появлялись колебания напряжения. Начальные части графика движения рамки были схожи (с колебаниями и без). Тем не менее, через 8-10 мин после того, как было подано напряжения с колебаниями, амплитуда движения рамки существенно возросла.

Стандартизация, основывающаяся только на величине и частоте колебаний даёт различные результаты для помех различного характера (например, прямоугольные импульсы против синусоиды) или даже для помехи того же рода, но разной пропорции (например, прямоугольных импульсов различной длительности). Ошибка в оценке ЭМС по сравнению с дозой фликера может быть значительной. Например, по методике [4] требования ЭМС были переоценены в 3,8-4,7 раза для группы прокатных станков.

Выводы

1. Большинство существующих показателей ЭМС являются справедливыми и обеспечивают однозначную, точную оценку ЭМС только в особых случаях стационарной или периодической помехи.
2. Действующие показатели ЭМС создаются для наилучших условий моделирования помех. Для практических целей структурная модель ЭМС должна быть разработана в виде линейного блока реакции на помеху и нелинейного блока оценки последствий искажений ЭМС.
3. Рассмотрение инерции объекта исключает завышение требований ЭМС, что особенно важно для стран с ограниченными энергетическими ресурсами.
4. Новое поколение приборов для оценки ЭМС должно иметь те же структурные схемы, что и соответствующие модели ЭМС. Это делает их универсальными и существенно упрощает измерения в электрических цепях.

Благодарности

Мы с признательностью отмечаем вклад д-ра В.М.Ковальчука в проведение экспериментов на зрительное утомление. Мы также хотели бы поблагодарить д-ра Д.Э.Куренного за помощь в подготовке рукописи.

Ссылки

1. Flickermeter: Functional and design specifications. Report of International Electrotechnical Commission, vol. 868,1986, p.31.
2. А.К.Шидловский и Э.Г.Куренный Введение в статистическую динамику систем электроснабжения, Киев: Наукова думка, 1984.
3. Planning limits for voltage Unbalance in the United Kingdom. The Electricity Council, Engineering Recommendation, London, 1978, p.29.
4. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего пользования. Действует с 1 января 1989 года.