

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ И ЭЛЕМЕНТАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Белашов В.Ю., Асадуллин А.И.

г. Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казанский государственный энергетический университет

Электромагнитная (ЭМ) обстановка на предприятиях промышленности и объектах электроэнергетических систем (ЭЭС) определяется суперпозицией ЭМ полей, генерируемых электрооборудованием и отдельными элементами ЭЭС [1, 2]. К такому оборудованию относятся: линии электропередачи, коммутационные устройства и токоограничители, приемники и преобразователи электрической энергии низкого и высокого напряжения (электрические двигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) [1-3]. При этом, чем выше энерговооруженность предприятия, тем сложнее ЭМ обстановка. Исследования показывают [3-5], что ЭМ излучения, генерируемые электрооборудованием и элементами ЭЭС, не ограничиваются промышленной частотой и ее гармониками: диапазон частот источников составляет от 50 Гц (промышленная частота) до десятков и сотен мегагерц [2-4].

В работе [5] был представлен разработанный и созданный нами мобильный экспериментальный комплекс для исследования ЭМ полей в диапазоне частот 5 кГц – 2,6 ГГц, генерируемых электрооборудованием и элементами ЭЭС, подробно описаны его характеристики и технические возможности, объективно выделяющие данную измерительную систему среди других обычно используемых для подобных целей средств измерений.

Цель данной работы – показать, на основе мониторинговых исследований ЭМ обстановки, проведенных нами с помощью мобильного экспериментального комплекса, присутствие в общем ЭМ фоне интенсивных излучений на частотах, существенно превышающих промышленную частоту и частоты первых десятков её гармоник, а также обратить внимание на значимость учета высокочастотных излучений, генерируемых электрооборудованием и элементами ЭЭС при решении проблем ЭМ совместимости (ЭМС).

Экспериментальные мониторинговые исследования проводились нами в сентябре-октябре 2012 г. на ряде энерговооруженных промышленных предприятий и электрических подстанций Приволжских электрических сетей Республики Татарстан. При этом программа экспериментов включала в себя непрерывную регистрацию напряженностей электрического и магнитного полей в режиме амплитудной и частотной демодуляции в диапазоне частот 5 кГц – 2,5 ГГц с контролем временной динамики амплитудного и фазового спектров, а также автокорреляционной функции исследуемого процесса в реальном масштабе времени.

На рис. 1, 2 приведены примеры результатов измерений, выполненных на

территории предприятия ОАО ПО “Завод имени Серго”, г. Зеленодольск. На рис. 1 представлен пример зарегистрированной в эксперименте спектрограммы (динамического спектра) в районе заводоуправления предприятия.

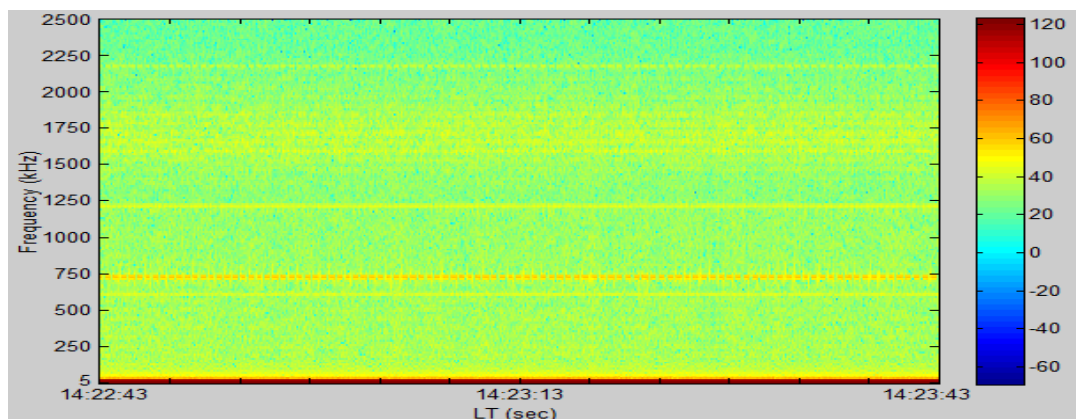


Рис. 1. Динамический спектр (5 кГц – 2,5 МГц).
Заводоуправление. Частотная демодуляция

По имеющейся информации, в этом районе установлены следующие потребители электрической энергии: преобразователи частоты электродвигателей GFW-0,9 110 кВт; VLT-8252 160 кВт; ТПЧ-320-05/160-04, автомат низкотемпературного отжига АНО; автомат отжига и закалки АОЗ. Все эти потребители излучают ЭМ поля частотой до сотен мегагерц [3, 4]. Здесь же отчетливо видно, что помимо гармоник промышленной частоты в течении всего интервала измерений присутствуют излучения на частотах ~600 кГц (~50 дБ), ~750 кГц (~90 дБ), ~1200 кГц (~50 дБ), ~2200 кГц (~50 дБ). В режиме амплитудной демодуляции наблюдалась аналогичная картина.

На рис. 2 представлен пример результатов аналогичных измерений вблизи главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия (восточная сторона цеха по сборке холодильников) – динамические спектры ЭМ излучений, зарегистрированные как в режиме частотной, так и в режиме амплитудной демодуляции принимаемого сигнала в диапазоне 5 кГц – 2500 кГц.

Измерения выполнялись непосредственно вблизи силовых кабельных линий (КЛ) 10 кВ. Отчетливо видно, что помимо гармоник промышленной частоты в течение всего интервала измерений присутствуют мощные излучения на частотах ~700 кГц (~130 дБ), ~1450 кГц (~145 дБ).

Из сравнения приведенных на рис. 2 результатов можно, в частности, заключить, что генерируемые кабельными сетями (10 кВ) и силовым электрооборудованием, установленным на ГПП завода (трансформаторы ТМС-2500/10, высоковольтные элегазовые выключатели 100SFMT-40Е), излучения промодулированы как по частоте, так и по амплитуде, что, по-видимому, определяется весьма сложной пространственно-временной структурой и динамикой ЭМ поля вблизи энергонасыщенных объектов. Кроме трансформаторов, выключателей и кабельных линий ВН, свой вклад в спектр ЭМ излучений вносят установки потребителей, размещенные в близрасположенных цехах и помещениях (преобразователи частоты электродвигателей котельной MFC710 55 кВт и

закалочная установка ЛЗ-107, генерирующие ЭМ поле в диапазоне частот 5 кГц – 900 МГц).

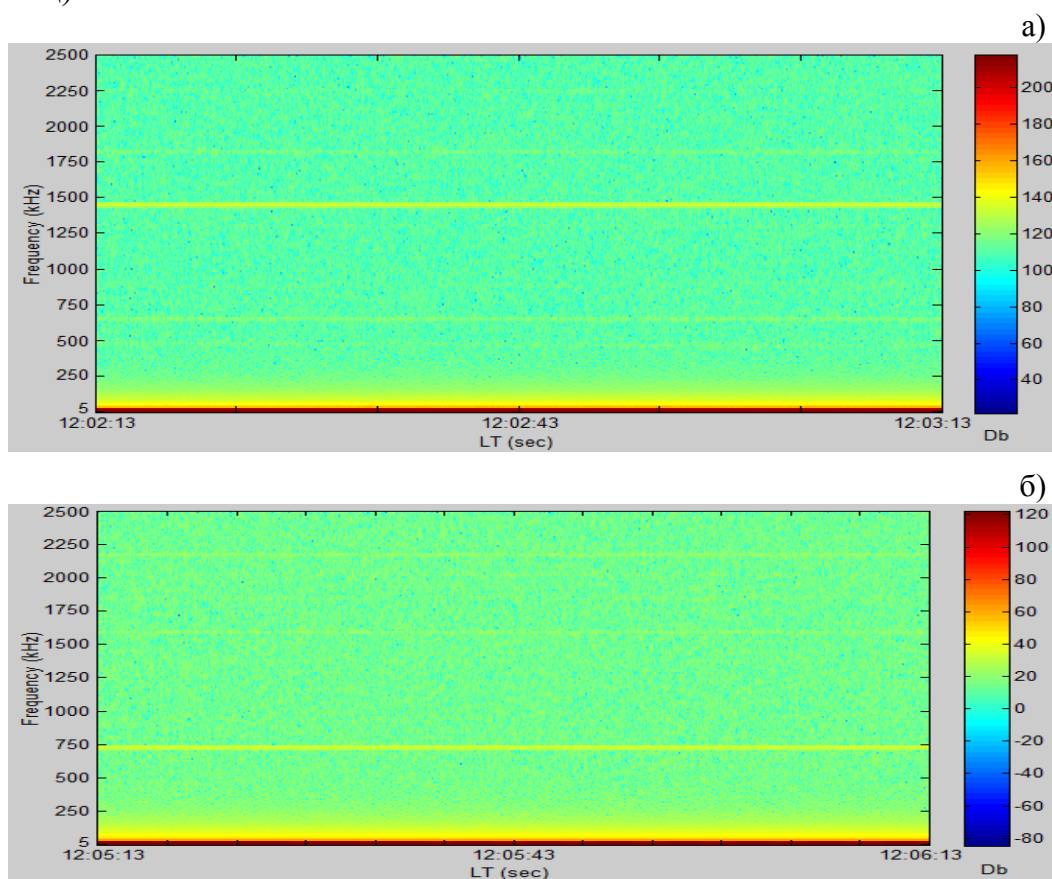


Рис. 2. Динамические спектры напряженности электрического поля в районе ГПП: а) частотная, б) амплитудная демодуляция

На рис. 3, 4 представлены примеры результатов измерения ЭМ поля на п/ст. “Аэропорт” Приволжских электрических сетей Республики Татарстан. Видно, что в «низкочастотном» диапазоне (рис. 3) на территории подстанции наблюдается сложная ЭМ обстановка, связанная с наличием постоянно действующих источников узкополосного излучения. При этом в высокочастотном диапазоне 2,5 – 1280 МГц наблюдалось промодулированное как по амплитуде, так и по частоте достаточно мощное излучение ~1100 МГц (~100 дБ). Предположительно, источником этого высокочастотного излучения может являться система навигации аэропорта Казань, находящегося неподалеку (диапазон излучаемых частот соответствует известному для радиолокационных систем [4]). Не исключено также, что свой вклад в общую ЭМ картину вносит высоковольтное электрооборудование подстанции.

На рис. 4 представлены примеры динамических спектров ЭМ поля, полученных в течение одноминутных интервалов измерения на магнитную антенну (с варьированием пространственной ориентации рамки) в «низкочастотном» (5 кГц – 2,5 МГц) диапазоне. На рис. 4,а можно видеть, что при ориентации нормали рамки под азимутальным углом 0° к направлению на места расположения силового оборудования подстанции в режиме частотной демодуляции наблюдаются мощные излучения на частотах 700 кГц (~100 дБ), ~1300 кГц (~40

дБ), ~1450 кГц (~45 дБ), ~2400 кГц (~50 дБ). Аналогичные излучения зарегистрированы и в режиме амплитудной демодуляции. Рис. 4,б иллюстрирует результаты измерений, выполненных с помощью магнитной антенны в положении нормали рамки под азимутальным углом 90° к направлению на места расположения силового электрооборудования. Видно, что и здесь в низкочастотном диапазоне наблюдается мощное ЭМ излучение на тех же частотах, что и для угла 0° .

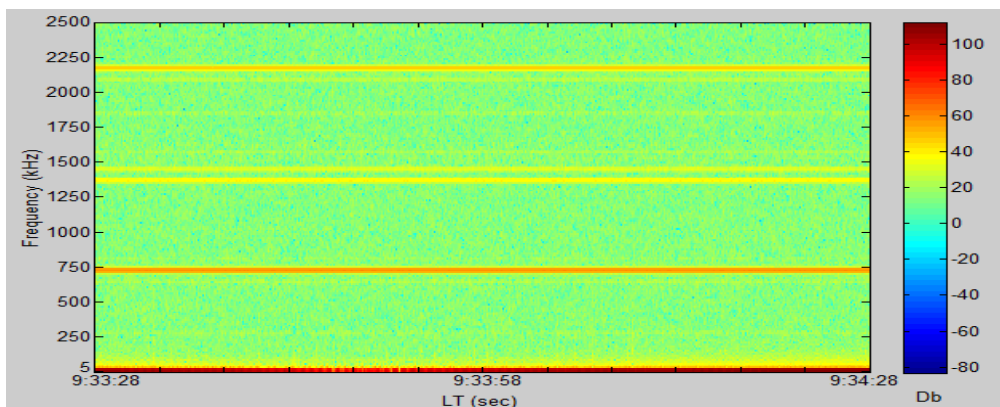


Рис. 3. Динамический спектр (5 кГц – 2,5 МГц).
Электрическая антенна. Амплитудная демодуляция

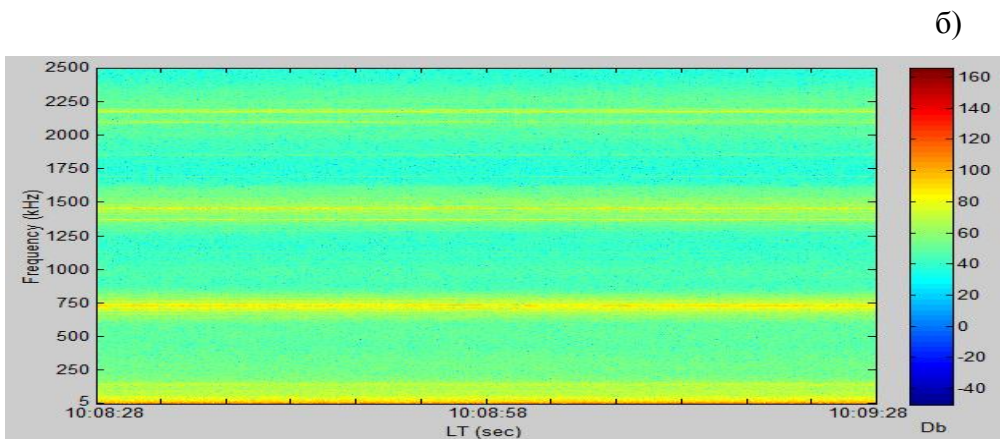
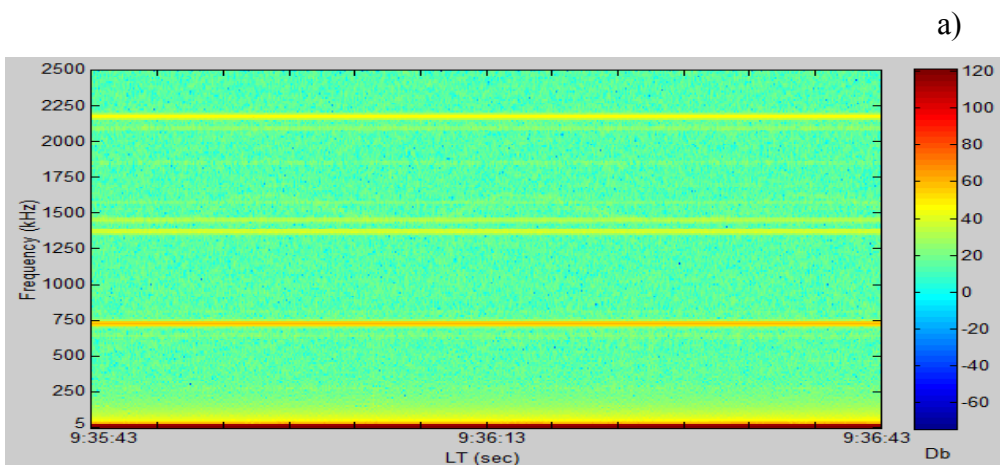


Рис. 4. Динамические спектры (5 кГц – 2,5 МГц). Частотная демодуляция.
Магнитная антенна: а) ориентация 0° ; б) ориентация 90°

Заметим, что в «высокочастотной» области спектра (2,5 МГц – 1,28 ГГц) результаты измерений на магнитную антенну для углов 0° и 90° резко отличаются друг от друга, что позволяет определить азимут предполагаемых источников.

В целом, по результатам всех серий выполненных экспериментов можно заключить, что вблизи реальных объектов энергетики и промышленности имеет место суммарный эффект воздействия на ЭМ обстановку большой совокупности источников, ввиду чего при использовании только полученных нами результатов (имевших основной целью общий мониторинг ЭМ ситуации на объектах в широком диапазоне частот) не представляется возможным провести четкую идентификацию обусловленности каждой конкретной спектральной линии или полосы конкретным источником. Для решения такой задачи требуется выполнить специально подготовленный цикл экспериментальных исследований по каждому объекту, включая многоантенные пеленгационные измерения (функциональные характеристики экспериментального комплекса включают такую возможность [2, 5, 6]), с целью установления источников излучения ЭМ полей в конкретных частотных полосах.

Полезность полученных в наших экспериментах результатов, тем не менее, очевидна: они характеризуют общую ЭМ обстановку на предприятии, связанную с наличием ЭМ излучений в широком диапазоне частот – от 5 кГц до 2500 МГц, что может быть использовано как при вводе нового электрооборудования, систем релейной защиты и автоматики, связи и управления, так и при эксплуатации уже существующего. Так, на обследованных предприятиях выполнение соответствующих циклов экспериментальных исследований позволило проанализировать наличие источников ЭМ помех на территориях объектов, установить возможные причины потенциальных ложных срабатываний систем противоаварийной защиты и изучить общую ЭМ ситуацию с целью решения проблем ЭМС и обеспечения безопасности персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белашов В.Ю. Электромагнитные поля и помехи в ЭЭС промышленных предприятий / Тр. Российского национального симпозиума по энергетике. – Казань: КГЭУ, 2001. – Т. 2. – С. 28-41.
2. Belashov V.Yu., Asadullin A.I. The Mobile Experimental Complex for studying of electromagnetic fields generated in a wide frequency range in an industrial environment // Proc. of the 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014), Gothenburg, Sweden, Sept. 1-4, 2014. Pp. 1209-1213.
3. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
4. Асадуллин А.И., Белашов В.Ю. Исследование ЭМ полей, генерируемых электрооборудованием и элементами ЭЭС. Ч. 1. – Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2011. – № 11-12. – С. 98-105.
5. Белашов В.Ю., Асадуллин А.И. Мобильный экспериментальный комплекс для исследования электромагнитных полей, генерируемых электрооборудованием и элементами электроэнергетических систем. – Промышленная энергетика, 2012. – № 8. – С. 52-55.
6. Асадуллин А.И., Белашов В.Ю. Исследование ЭМ полей, генерируемых электрооборудованием и элементами ЭЭС. Ч. 2. – Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2012. – № 1-2. – С. 46-59.