

## БЫТОВАЯ ТЕХНИКА КАК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО НАСЫЩЕННАЯ УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА

Специальность «Бытовая техника» позволяет увеличить и конкурентоспособность выпускаемых кафедрами электропривода инженеров-электромехаников на рынке труда, и конкурентоспособность самих кафедр на формирующемся рынке образования. Вместе с тем, иногда она рассматривается как не требующая от студента (а в дальнейшем и инженера) решения столь же сложных задач или применения тех же знаний и умений, что и специализация в области промышленного электропривода. Бытовые технические устройства считаются если и не менее сложными в сравнении с системами промышленного электропривода, то существенно иными, требующими применения знаний из преимущественно других областей науки и техники. С этой точкой зрения нельзя согласиться. Подавляющее большинство таких устройств могут и должны рассматриваться как хорошо знакомые, привычные для электроприводчика по их структуре, принципам действия и методам проектирования. Но в отличие от большинства систем промышленного электропривода многие бытовые устройства могут быть полностью спроектированы, изготовлены и испытаны в рамках учебного процесса. К таким устройствам относятся, например, активные низкочастотные электроакустические системы звуковоспроизведения, так называемые сабвуферы. Как показывает практика преподавания на кафедре АЭМС НТУ «ХПИ», проектирование такой системы может быть самостоятельно доведено студентом-дипломником до стадии испытаний опытного образца включительно. При этом решаемые в ходе проектирования задачи по номенклатуре во многом совпадают с задачами проектирования систем промышленного электропривода и, как минимум, не менее сложны, хотя и отличаются в ряде случаев определенным своеобразием.

Применяемая при проектировании сабвуфера структурная схема электродинамического громкоговорителя (рис. 1) типична и для многих промышленных систем электромеханического преобразования энергии.

Привычна для электроприводчика и применяемая при синтезе корректирующих устройств линейризованная математическая модель электромеханической части объекта управления, показанная на рис. 2 в виде структурно-алгоритмической схемы. По сути, это двухмассовая система с упругой связью, где неподвижная вторая масса представляет несущую конструкцию и акустическое оформление. Как и для систем промышленного электропривода, эта модель справедлива только при определенных условиях. Их нарушение требует ее замены другой моделью – системой нелинейных уравнений, уравнениями в частных производных и т.п. Но в отличие от многих промышленных электроприводов адекватность модели может быть проверена студентом самостоятельно (пример полученных авторами в ходе дипломного проектирования амплитудно-частотных характеристик реального громкоговорителя показан на рис. 3).

В принципе такое традиционное представление объекта позволяет применить весь комплекс методов, предоставляемых теориями электропривода и автоматического управления, другими изучаемыми дисциплинами. Но надо иметь в виду следующие особенности данной системы, с одной стороны, усложняющие стоящие перед студентом задачи, с другой стороны, позволяющие ему максимально полно проявить свои знания и умения:

1. Головка громкоговорителя и ее оформление, то есть в традиционной терминологии "механизм", конструктивно совмещенный с электромеханическим преобразователем, не являются заданными, а выбираются проектировщиком самостоятельно, исходя из разработанного технического задания. Объем прочитанного лекционного материала курса «Электронная бытовая техника» и технические данные, предоставляемые изготовителями головок, позволяют ставить и решать задачу выбора механизма в учебном процессе в полном объеме без каких либо искусственных ограничений ее сложности;

2. Выбор электромеханического преобразователя жестко связан с выбором механической части системы и от проектировщика требуется глубокое понимание их взаимодействия и конструктивных особенностей;

3. Требования к разрабатываемой системе весьма жесткие и многоплановые. Ограничения накладываются одновременно на временные характеристики, амплитудно-частотные, фазочастотные и др. К типичным требованиям можно отнести диапазон амплитуд полезного выходного сигнала более 100 дБ при динамической точ-

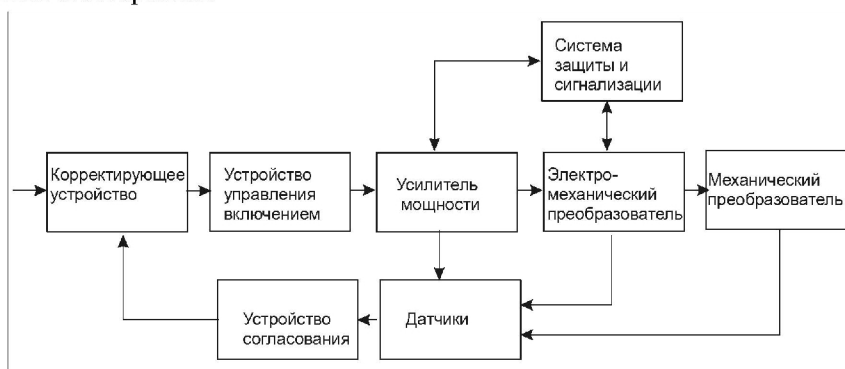


Рис. 1

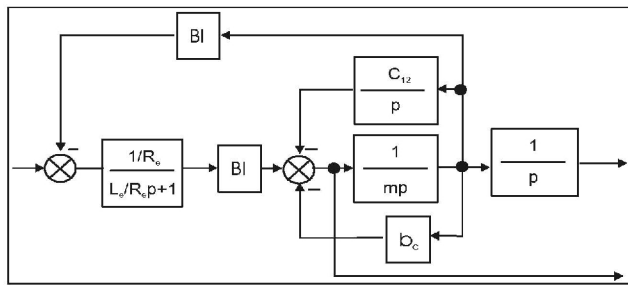


Рис. 2. Модель громкоговорителя

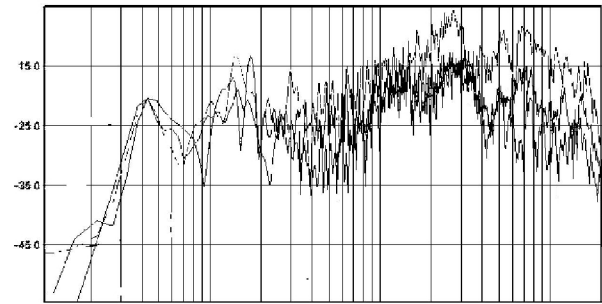


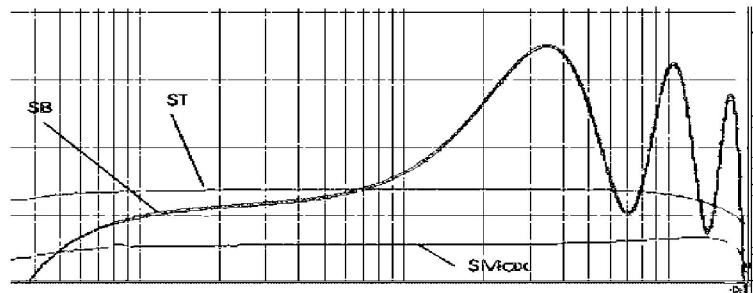
Рис. 3. Результат измерения АЧХ громкоговорителя

ности управления порядка 1 дБ, ширине полосы пропускания не менее нескольких сотен герц и добротности 0,7. Выполнить все требования в равной мере невозможно. Это требует от студента умения самостоятельно ставить задачи проектирования, учитывая при этом особенности потенциального конечного потребителя продукции, технологию ее производства и применения, результаты функционально-стоимостного анализа на всех этапах проектирования и пр.;

4. Объект управления является существенно нелинейным, причем требуется учитывать одновременно несколько имеющихся нелинейностей. Ограничиться линейной моделью, как это часто бывает в других случаях, невозможно. Требования к значению коэффициента нелинейных искажений, одному из важнейших показателей качества, весьма высоки - в высококачественной системе он не должен превышать нескольких единиц процента, в то время как у головки громкоговорителя значение этого показателя может превышать 20-30%. Для решения проблемы нелинейности от проектировщика требуется знание и физики процессов и нелинейной ТАУ;

5. Силовой электрический преобразователь (усилитель мощности) с равным успехом может быть реализован на самой разнообразной элементной базе – от электровакуумных ламп до IGBT и SiT транзисторов, от мощных специализированных операционных усилителей до широтно-импульсных и частотно-импульсных преобразователей со сложными законами коммутации. Число целесообразных и доступных для применения в рамках дипломного проектирования схемных решений составляет несколько десятков, причем во многих случаях принятые проектные решения могут быть проверены студентом экспериментально и сопоставлены с иными решениями. Следует подчеркнуть, что проектирование усилителя входит в круг вопросов, комплексно решаемых проектировщиком системы в целом, а не возлагается исключительно на узких специалистов - инженеров электронной техники. Принятые для усилителя технические решения существенно влияют на основные показатели качества звуковоспроизведения и должны быть отражены в математической модели системы. Таким образом, полученные при изучении дисциплины «Электроника и микросхемотехника» знания востребованы в ходе проектирования почти в полном объеме. Кроме того, при проектировании акустических и механических элементов звукового тракта широко применяется метод электромеханических аналогий. Соответственно и здесь оказываются востребованы знания, полученные при изучении электроники и ТОЭ;

6. Вспомогательные устройства, такие как фильтры, блоки питания и системы защиты, во многих случаях оказывают существенное влияние на показатели качества, и к их проектированию нельзя подходить упрощенно. В качестве примера на рис. 4 показаны экспериментально полученные в ходе дипломного проектирования амплитудно-частотные характеристики компьютерных звуковых карт, применявшихся в качестве источников управляющего воздействия и измерительных приборов;



ST – высокое качество, SMax – среднее, SB – низкое

Рис. 4. АЧХ звуковых карт разного качества

7. Только в последние годы развитие электроники позволило на практике применять в электроакустических системах сложные системы управления с обратными связями по механическим координатам. Соответствующие методы управления являются актуальной темой научных исследований и активно патентуются ведущими производителями акустических систем. Говорить о каких-то традиционных решениях, подобных настройке СПР на модульный оптимум, здесь не приходится, и этап научно-исследовательских работ при проектировании является обязательным. Вместе с тем, даже недавно появившиеся средства измерения, например, интегральные датчики ускорений, являются доступными, и могут физически применяться в дипломном проектировании. Однако их применение требует не только понимания принципов работы датчиков, но и знания их конструктивных и схемотехнических особенностей, так как условия работы близки к предельно допустимым, а погрешности измерения могут быть значительными. На рис. 5 показаны полученные в ходе дипломного проектирования результаты спектрального анализа звукового давления, создаваемого экспериментальной акустической системой. Сопоставление прямого измерения (измерительным микрофоном) и косвенного (закрепленным на диффузоре датчи-

ком ускорения) позволяет сделать вывод о допустимости или недопустимости применения последнего.

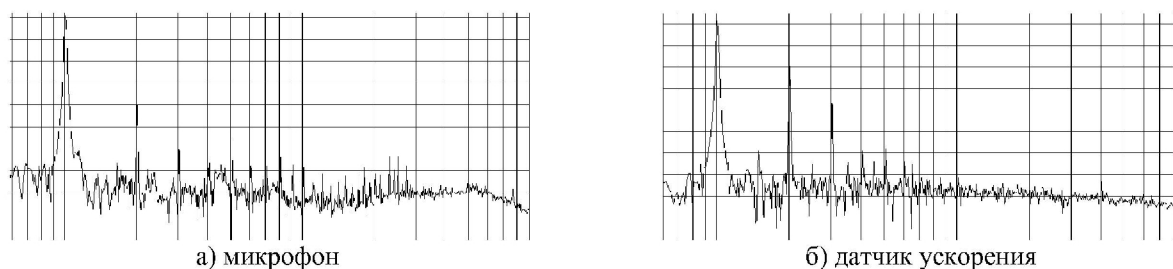


Рис. 5. Частотный спектр фонических сигналов

Следует иметь в виду, что даже при использовании датчиков новых типов систему нельзя замкнуть по измеряемому полному вектору переменных состояния и требуется применение методов управления по неполному вектору. Могут применяться регуляторы состояния известных типов – модальные, оптимальные, робастные и пр. Но их синтез имеет свои особенности. Например, передаточная функция по управлению для выхода объекта имеет конечный ноль, то есть в отличие от многих систем промышленного электропривода объект управления является полосовым фильтром или фильтром верхних частот, а не нижних. При синтезе модального регулятора могут использоваться стандартные распределения корней, но математическую модель объекта требуется подвергнуть преобразованию, приводящему ее к фильтру нижних частот. Показатель быстродействия целесообразно считать не задаваемым параметром проектирования, а определяемым в ходе синтеза;

8. Сложность решаемых задач управления такова, что зачастую требуется цифровая обработка сигналов на базе цифровых процессоров сигналов (DSP). При выполнении дипломного проектирования таким процессором может быть встроенный DSP некоторых звуковых карт для персонального компьютера. При их применении востребованными оказываются знания, полученные при изучении курсов «Основы микропроцессорной техники», «Электропривод с микропроцессорным управлением», «Цифровая обработка сигналов» и ряда других.

9. Практически все проектные процедуры могут быть автоматизированы с помощью специализированного программного обеспечения. Как показал проведенный анализ, к обычно автоматизируемым относятся следующие процедуры (для некоторых в списке указаны примеры программного обеспечения):

- измерение нормируемых показателей качества звуковоспроизведения: (полоса частот, неравномерность АЧХ, КНИ, КИМИ, динамический диапазон и т.д.) – программа RMAA;
- измерение частотных и временных характеристик звукового тракта – пакеты программ ETF, MLS, TrueAudio;
- проведение спектрального анализа – программы SpectroLab, Analyzer2000 и др.;
- моделирование звукового поля в помещении (отражения, дифракция и т.п.), расчет частот резонанса, стоячих волн, оптимизация размеров помещения и расположения источников звука – Odeon, Sabin, RoomSizer;
- моделирование электро-акустических цепей, применение метода электромеханических аналогий – AkAbak;
- автоматическая DSP коррекция АЧХ и динамических характеристик звукового тракта – DRC;
- конструктивный расчет головок электродинамических громкоговорителей, моделирование электромагнитного поля и температуры головки методом конечных элементов – FineMotor, FEMM, Ansys, Elcut;
- поиск технических данных по громкоговорителям в базах данных, идентификация параметров Тилля-Смолла громкоговорителя (резонансные частоты, импеданс, добротность и пр..) – SpeakerShop и др.;
- конструктивный расчет акустического оформления громкоговорителя, построение его частотных и временных характеристик – Bass Box, LspCAD и др.;
- разработка принципиальных схем и моделирование кроссоверов, корректирующих цепей и прочих электронных узлов, конструктивный расчет электромагнитных элементов кроссоверов и усилителей – трансформаторов, дросселей и пр., расчет и моделирование источников вторичного электропитания.

Разумеется, целесообразно применять и САПР общего назначения – AutoCAD, Matlab и т.п. Для пакета Matlab имеется несколько специализированных расширений (тулбоксов). Целесообразно и создание в ходе проектирования собственного программного обеспечения, так как многие из существующих программных продуктов имеют существенные недостатки. Так, большинство широко известных программ конструктивного расчета акустического оформления громкоговорителей хотя и содержат в своих базах данных значения индуктивности звуковых катушек, но не учитывают его при расчете характеристик громкоговорителей. Кроме того, в большинстве случаев используется линейная, а не нелинейная модель громкоговорителя, и для анализа нелинейных искажений приходится использовать другие средства. В целом, объем имеющихся материалов по специализированным средствам автоматизации проектирования бытовых устройств существенно превышает объем существующего лекционного курса САПР.

Таким образом, можно заключить, что разумно поставленное обучение по специальности «Бытовая техника» дает студентам самые широкие возможности для освоения системного подхода к проектированию электромеханических систем, для изучения современных методов и средств их проектирования, для продуктивной научно-исследовательской деятельности в области электропривода.