

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКБИБЛИОГРАФИЯ

517.942(049.3)

ФУНКЦИИ УОЛША В ФИЗИКЕ И ТЕХНИКЕ

H. F. Harmuth. *Transmission of Information by Orthogonal Functions.* 2nd ed. Berlin, Springer-Verlag, 1972, XXII + 392 p.

Искусство физика — это умение выделить определяющие функциональные связи в сложном переплетении явлений. Если это удастся сделать, то экспериментальные данные отображаются простыми законами или моделями при небольшом числе физически осмысленных параметров. Верным помощником физика здесь был и остается спектрально-частотный анализ, глубоко проникший во все разделы физики. И это не удивительно. Представление о частотных компонентах дает сама природа — волны на поверхности воды, колебания струны, мир звуков и красок. Эти представления легко воспринимаются человеком благодаря тому, что зрение позволяет человеку ощущать цвета, а ухо является тонким гармоническим анализатором. В итоге длительной эволюции науки спектрально-частотный анализ стал бойким перекрестком математики и физики.

Теорию спектрально-частотного анализа в его наиболее завершенной форме впервые сформулировал Фурье. Он же сам успешно его применил. Ряд Фурье — это отображение периодической функции в виде суммы гармонических синусоид. Эта сумма характеризуется последовательностью значений амплитуд и фаз каждой гармоники, частоты которых кратны числам натурального ряда. Монические

После Фурье было обнаружено, что для некоторых задач лучше подходят не гармонические, а другие системы ортогональных функций, например, полиномы Лежандра. Фактически любая конкретная задача нуждается в своей собственной системе ортогональных функций. Наиболее ярко это проявилось в ходе развития квантовой механики.

Потребности прикладных наук, и прежде всего теории информации и техники связи, где классические спектральные представления нашли широкое применение, создали предпосылки для разработки функций с двойной ортогональностью. Эти функции взаимно ортогональны как на всей оси координат или времени, так и на заданном конечном интервале. Прикладные науки существенно обогатились благодаря использованию систем функций с двойной ортогональностью, а недавно их начали использовать в оптике. С помощью дважды ортогональных функций удалось найти обобщенную формулировку классического соотношения неопределенностей.

В технике связи синусоиды генерируются и преобразуются с помощью линейных систем, параметры которых изменяются медленно по сравнению с основным периодом колебаний. Синусоидальные функции наиболее полно отражают свойства линейных, инвариантных во времени систем. Именно благодаря этому они использовались монополюсно в технике связи и других прикладных науках.

Между тем в арсенале математиков имелись системы ортогональных функций, которые нигде не находили применения вплоть до самого последнего времени. Это — решетчатые функции, или функции Уолша — Хаара — Адамара, которые заданы на конечной равномерной последовательности точек. Математический аппарат, описывающий эти функции, сводится фактически к алгебре и к понятиям и правилам математической логики. Замечательно то, что функции Уолша в последнее время стали использовать в прикладных науках, в технике связи и оптике, а также в физике.

Следует ожидать, что функции Уолша станут особенно полезными в современной физической лаборатории, оснащенной многоканальными анализаторами и сложной системой обработки информации, включающей цифровые электронно-вычислительные машины. Это предвидение основывается на следующих доводах. Во-первых, в соответствии с фундаментальной теоремой теории информации, информация, извлекаемая исследователем в каждом отдельном опыте, всегда конечна, и ее можно представить в виде конечной цепочки цифр. Именно это используют физики в системах проведения эксперимента на линии с цифровой электронно-вычислительной машиной. Во-вторых,

искомый физиком ответ, как итог опыта, описывается конечной последовательностью цифр. Все это подходит как нельзя лучше к аппарату функций Уолша, задаваемых в конечной последовательности точек.

Всего лишь два года отделяют выпуск рецензируемой книги от ее первого издания. Это — свидетельство того большого интереса, который вызывает проблема использования функций Уолша в прикладных науках и в физике. Техника спектрального анализа с использованием функций Уолша дает принципиально новые возможности быстрой обработки информации. Классические спектральные анализаторы с использованием синусоидальных функций этого сделать не могут. Время, затрачиваемое на спектральные преобразования по системе функций Уолша, существенно меньше, а потребное оборудование проще и дешевле, чем в случае синусоидальных функций. Уже это является достаточным оправданием для использования функций Уолша при обработке многомерных массивов данных и для поиска принципиально новых систем связи на большие расстояния.

Автор рецензируемой книги — известный специалист по функциям Уолша. Книга Х. Хармута посвящена изложению теории функций Уолша и основных направлений их применения. Ведущее место здесь продолжает занимать техника связи, где всегда широко использовались ортогональные функции различных классов. Достаточно напомнить, что работы В. А. Котельникова (1947 г.) позволили сформулировать общую теорию ортогональных функций применительно к технике связи. Достоинства несинусоидальных ортогональных функций класса функций Уолша и возможность использования их в технике связи были поняты еще в 60-х годах. Однако интенсивное применение их началось лишь после того, как появилась полупроводниковая электроника, микросхемы, технология изготовления интегральных схем и, наконец, быстродействующие электронно-вычислительные машины. Параметры линейных систем во времени можно было изменять теперь очень быстро.

Книга Х. Хармута состоит из введения, семи глав и библиографического указателя. История функций Уолша прослеживается автором до конца 19 века, а фактически восходит к работам Дж. Сильвестера (1867 г.). В первой главе приведены удачно выполненные иллюстрации, которые помогают читателю быстро усвоить новые понятия, связанные с функциями Уолша. Это — понятие «секвента», которое является обобщением понятия «частота», а также новые операции: диадный сдвиг, диадное дифференцирование, логическое интегрирование, диадная корреляция и другие. Все эти операции просто осуществляются с помощью электронно-вычислительных машин. Заключительная часть первой главы посвящена анализу свойств понятия диадного времени на примере улиц в городе, построенном по диадному принципу (!).

Понятие «частота» для синусоидальных функций является аналогом понятия «секвента» для функций Уолша. Аналогом «частотного» фильтра соответственно является «секвентивный» фильтр. С помощью технологии интегральных схем можно изготовить компактные и высокоэффективные системы фильтрации, например, согласованные секвентивные фильтры.

Для физика и геофизика особый интерес представляют методы построения секвентивных фильтров для случая, когда регистрируемый сигнал зависит от нескольких пространственных переменных. В книге описаны примеры схемной реализации таких фильтров для целей преобразования телевизионных сигналов, а также систем быстрого считывания данных, зависящих от трех пространственных переменных.

Несколько глав книги Х. Хармута посвящены кодовым и мультиплексным системам связи. Подобные системы связи были реализованы несколько лет назад и были использованы, в частности, для передачи сигналов телевизионных изображений поверхности Марса. Однако изложение этого вопроса в книге ведется с новых позиций, опираясь на функции Уолша, и оно оказывается очень компактным и наглядным. Обсуждаются такие принципиально новые системы связи, в которых несущее колебание имеет вид функций Уолша. В последнее время функции Уолша находят применение во многих разделах прикладных наук и в физике. Об этом говорят названия докладов на ежегодных симпозиумах по применению функций Уолша. В 1973 г. состоялся четвертый такой симпозиум. Темы докладов охватывают следующие проблемы: анализ геофизической информации, данных сейсмографии, в частности, подводной, применение функций Уолша в биофизике и медицине для построения компактных систем кодирования голоса и изображений, при распознавании образов, в оптической спектроскопии, в радиолокации и даже в голографии. Функции Уолша привлекают тем, что с их помощью можно быстро и эффективно произвести сжатие данных без потери полезной информации.

Освещая многочисленные проблемы теории и техники связи, связанные с функциями Уолша, автор книги излагает также вопросы, которые не могут оставить физика равнодушным. Так, например, в пятой главе приводится теория несинусоидальных электромагнитных волн. Такие волны генерируются антенной Уолша, в которой зависимость тока возбуждения от времени задается функциями Уолша. Для этого используется техника переключательных цепей. Временная структура поля в ближней и дальней зонах антенны Уолша существенно отличается по форме. Электромагнитная

волна приобретает пассивную метку дальности. Чтобы оценить расстояние между антенной Уолша и наблюдателем, достаточно зарегистрировать форму сигнала только в одной точке пространства. Классическое электромагнитное поле, излучаемое диполем Герца, таким свойством не обладает. Необычно выглядит явление интерференции при наложении волн Уолша. Соотношение между интенсивностями различных мультиполей электромагнитной волны Уолша также оказывается необычным. Если в классическом случае интенсивность старшего мультиполя меньше в $(a/\lambda)^2$ раз, чем интенсивность младшего мультиполя, где a — размер излучателя, λ — средняя длина волны, и $a \ll \lambda$, то в случае антенны Уолша соотношение между интенсивностями различных мультиполей оказывается произвольным, несмотря на то, что при этом не изменяют ни геометрию антенны Уолша, ни среднюю длину волны излучения. Антенна Уолша отличается от диполя Герца также тем, что электромагнитное поле Уолша обладает доплеровской инвариантностью. Именно это свойство волн Уолша, как отмечает автор книги, возрождает надежду у радиоастрономов на возможность установления связи с внесемными цивилизациями. Естественно, что для такой связи наши братья будут использовать только такие, инвариантные относительно доплеровского смещения частоты, электромагнитные волны.

Книга Г. Хармута содержит много нового и чрезвычайно полезного материала. Книгу следует перевести на русский язык, и она не должна миновать физика.

Л. М. Сороко