

543.42(049.3)

СЕКВЕНТНЫЙ АНАЛИЗ В ТЕХНИКЕ И ФИЗИКЕ

Harmuth H. F. *Sequence Theory: Foundations and Applications*. — New York: Academic Press, 1977. — XIV + 505 p.

Секвентный анализ, который представляет собой обобщение и одновременно альтернативу спектрального гармонического анализа, сформировался в самостоятельную дисциплину около 10 лет. За это время теория секвентного анализа прошла проверку на практике и сейчас стремительно проникает в радиотехнику, телевидение, вычислительную технику, акустику, оптику и физику. На базе секвентного анализа созданы принципиально новые системы связи, построены устройства мгновенной обработки изображений, подводное акустическое кино с высокой скоростью смены кадров и, наконец, изготовлены передатчики и приемники несинусоидальных электромагнитных волн. На базе секвентного анализа удалось обойти проблему поглощения радиоволн и акустических волн на высоких частотах.

О том, что такое секвентный анализ и как устроены упомянутые выше системы, речь идет в рецензируемой книге. Ее автор, Х. Хармут, профессор Католического университета Америки в г. Вашингтоне, широко известен своими оригинальными работами в области секвентного анализа. Его традиционные интересы лежат в радиотехнике и в акустике. Однако присущий секвентному анализу универсализм с неизбежностью привел автора книги к несинусоидальным электромагнитным волнам, нестационарным во времени дифракционным решеткам, к принципиально новым системам формирования акустических изображений без помощи линз или голографии, к разностным уравнениям квантовой механики и, наконец, к проблемам топологии пространства-времени. Об актуальности круга проблем, над которыми активно работает автор книги, говорит тот факт, что рецензируемая книга является третьей из серии книг, написанных Х. Хармутом за последние восемь лет. Первая книга, выпущенная издательством «Шпрингер» в 1969 г., была переведена издательством «Связь» на русский язык под названием «Передача информации ортогональными функциями». В 1972 г. вышло второе, существенно дополненное и переработанное издание этой книги. Рецензия на нее была опубликована в УФН (1973, т. 111, с. 561). Выпуск перевода рецензируемой книги планируется издательством «Мир» на 1980 г.

Книга изобилует новыми терминми, которые начинаются с ее названия. Поэтому разговор с будущим читателем этой книги хочется начать словами: «Секвентный анализ — это очень просто...». Подобное крылатое выражение, введенное в стандарт авторами многих популярных книг, может снизить высоту барьера, который отделяет читателя от сущности секвентного анализа. Одной из причин возникновения такого барьера является устойчивость наших научных традиций. Все привыкли пользоваться аппаратом спектрально-гармонического анализа, веря в его универсализм, и многие при поверхностном знакомстве с рецензируемой книгой могут расценить ее как мало полезную. Традиция мыслить понятиями гармонического анализа формировалась в течение весьма длительного периода времени. Его началом надо считать 1822 г., когда была опубликована работа Ш. Фурье, посвященная теории теплопроводности. В этой работе впервые наиболее четко были использованы представления гармонического анализа, которые, медленно эволюционируя, к середине нашего века стали господствовать в физике, в радиотехнике, в теории информации и во многих других науках.

Истинная причина трудностей, с которыми действительно может столкнуться читатель рецензируемой книги, состоит в том, что секвентный анализ является одновременно как разновидностью гармонического анализа, так и его альтернативой. Последнее свойство выражает хорошо известный факт: попытки совместить эти две теории оказались безуспешными. Во введении, которое написано живо и увлекательно, автор проследывает эволюцию гармонического анализа, и связывает ее с догмой об окружающей. Безраздельно господствовавшая в астрономии, эта догма в эпоху открытия законов Кеплера переместилась в физику, где в скрытом виде существует до сих пор. Вытекающие с логической последовательностью из догмы об окружающей континуальная топология пространства-времени и универсализм дифференциального исчисления стали основой математического аппарата всех разделов современной науки и техники. Лишь работая на электронно-вычислительных машинах, приходится немного отходить от континуума и вводить дискретные конечные последовательности цифр с ограниченным числом знаков. Здесь уместно вспомнить, что в технике связи синусоидальные функции не сразу заняли свое господствующее положение, а в последнее время начался обратный процесс постепенного вытеснения их несинусоидальными функциями. Решающим стимулом ускорения этого процесса является бурное развитие полупроводниковой техники и электронно-вычислительных машин, где широко используются переключаемые электронные цепи и аппарат дискретных преобразований. О том, что синусоидальные функции не всюду являются эффективными и полезными, свидетельствует:

становление и развитие нового молодого раздела техники связи, который сформировался на базе систем излучения и приема несинусоидальных электромагнитных волн. При помощи этих систем удалось впервые использовать на практике некоторые весьма полезные свойства электромагнитных волн, о которых не знали пользователи традиционных систем радиосвязи и которые недоступны для радиолокатора на синусоидальной несущей.

Понятие «секвента» имеет смысл обобщенной частоты и определяется числом изменений знака функции на определенном интервале времени. Секвента характеризует обратное пространство, которое существенно отличается от частотного пространства в гармоническом анализе. Успехи секвентного анализа базируются не на том, что был сделан переход от представлений гармонического анализа к представлениям секвентного анализа, а на том, что вместо синусоидальных сигналов и волн стали использовать и генерировать волны Уолша и другие несинусоидальные сигналы. Естественно, что для описания систем, в которых происходит преобразование несинусоидальных сигналов, проще использовать секвентный анализ, а не гармонический. Применение секвентного анализа на практике оказалось весьма продуктивным. Так, например, именно на базе секвентного анализа были изготовлены фильтры и процессоры пространственных и временных сигналов, при помощи которых преобразование удается вести в реальном времени. В Японии, Англии и ФРГ были построены системы сжатия информации в телевизионном канале. В Японии и ФРГ были изготовлены быстродействующие системы считывания двумерных данных при помощи нематических жидких кристаллов. Х. Хармуг в США создал принципиально новую систему формирования акустических киноизображений со скоростью смены кадров до 10^5 с^{-1} . Принцип действия этой системы отличается от принципа действия изображающих акустических систем, гидролокатора и акустической голографии.

Техника связи — традиционная область интересов автора книги, и поэтому подробнее всего в книге рассмотрены несинусоидальные электромагнитные волны, принципы их передачи и приема, а также описаны конструкции действующих устройств. Показано, что для несинусоидальных электромагнитных волн нет теоремы взаимности, которая верна только для синусоидальных волн и согласно которой диаграммы направленности излучения и приема одной и той же антенны строго совпадают между собой. Поляризованные по кругу электромагнитные волны Уолша позволяют отличить объект-рассеиватель от объекта-отражателя. Несимметричные по поляризации несинусоидальные электромагнитные волны позволяют отличить проводящий объект от непроводящего. Несколько необычно выглядит эффект Доплера для волн Уолша. При переходе от синусоидальной несущей к несущей Уолша системы радиолокация дают высокое разрешение по скорости одновременно с высоким разрешением по дальности. Радиус действия загоризонтного радиолокатора существенно увеличивается, а также возникает возможность подавать эффект фединга из-за многолучевого распространения радиоволн. В конце третьей главы даны ответы на типичные возражения противников несинусоидальных электромагнитных волн. Эти ответы позволяют читателю быстро освободиться от многих заблуждений, которые возникают с неизбежностью у каждого, кто привык мыслить только в терминах синусоидальных волн.

Особое место в книге занимает четвертая глава, в которой сделана попытка перенести понятия секвентного анализа из техники связи и теории информации в физику микромира. Рассмотрены схема устройства и принцип действия неинвариантной во времени дифракционной решетки, которая разлагает свет по системе волн Уолша, а не по системе синусоидальных волн разных частот. Дан сравнительный анализ топологических моделей пространства-времени: модели, основанной на вещественных числах, и модели, построенной на диадной группе. Истории физики известны многие попытки построить топологию пространства-времени, имеющую гранулированную структуру и опирающуюся на понятие элементарной длины. Отмечая некоторые из этих попыток, Х. Хармуг развивает гипотезу о диадной топологии пространства-времени, которая, в частности, позволяет естественным образом ввести обменные взаимодействия между нуклонами и вакуумные флуктуационные движения свободных частиц непосредственно в топологию пространства-времени. Слабым местом этой гипотезы является то, что она не связана с каким-либо определенным типом полей, известных в настоящее время в физике, и не доведена до количественных результатов. Такая цель, правда, в книге не ставится. Гипотеза о диадной топологии пространства-времени рассматривается всего лишь как один из многих вариантов, которые можно построить, опираясь на целочисленную топологию. По сравнению с целочисленной топологией, построенной на полях Галуа, диадная топология обладает определенной наглядностью.

Далее Х. Хармуг выдвигает гипотезу о том, что в физике микромира следует использовать разностное, а не дифференциальное исчисление. Построено разностное уравнение Шрёдингера, найдена временная зависимость решений и получено стационарное решение. Исходя из определенных разностных операторов первого и второго порядков дана матричная запись решений разностного уравнения Шрёдингера. При решении разностного уравнения Шрёдингера разработан метод разделения переменных

в центрально-симметричном поле и получено разностное уравнение для конечных сферических функций. Далее строятся и решаются разностные уравнения Клейна — Гордона и Дирака. Вопрос о сходимости полученных решений связан с вопросом о размерах области, где может наступить расхождение между разностными и дифференциальными уравнениями. Х. Хармут не делает никаких определенных заключений, которые можно было бы сопоставлять с теми или иными экспериментальными данными, и основное внимание обращает на математический аппарат, который необходим для решения разностных уравнений квантовой механики.

Перевод книги Х. Хармута на русский язык будет также содержать дополнение — статью Х. Хармута в журнале «IEEE Transactions» (1977, в. EMC-19, No. 3, p. 137), посвященную методам и аппаратуре для селективного приема периодических несинусоидальных электромагнитных волн. В ней описан принцип действия приемников таких волн и дано сравнение с конструкциями традиционных приемников синусоидальных волн. Книга Х. Хармута представляет большой интерес для широкого круга специалистов. В ней освещаются новые, нетрадиционные направления, которые в настоящее время переживают фазу бурного развития.

Л. М. Сороко