

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ

Прасол И.В., Кобылинский А.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Биомедицинских электронных устройств и систем,
тел. (057) 702-13-64, E-mail: ivp@kharkov.ukrtel.net

Problems of the optimum designing analog-digital devices, in particular devices of the biomedical engineering, are discussed. Technique of the designing such devices, founded on using generalized criterion of optimality, were proposed. This criterion takes account not only partial criteria of optimality analog and digital parts device, but mutual influence between them. Existing methods of the normalization partial criteria and forming generalized criterion of optimality are analyzed. Special emphasis is spared to the problems of optimization of the digital circuits. The estimation of optimality of the circuit of the heart rate indicator was made. Value of the generalized criterion of optimality for this circuit was computed.

Процесс проектирования современных устройств биомедицинского назначения сталкивается с рядом трудностей. Дело в том, что для подобных устройств свойственно наличие разнородных частей: аналоговых датчиков, аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, различных блоков цифровой обработки сигналов и пр. При проектировании схем таких устройств, особенно на этапе их оптимизации, следует учитывать то, что получение желаемых характеристик работы отдельных блоков устройства (аналоговых и цифровых) не всегда обеспечивает удовлетворительную работу всей схемы в целом. Это происходит вследствие взаимного влияния между аналоговыми и цифровыми частями разрабатываемых устройств.

При решении подобных задач предлагается использовать алгоритмы и методы многокритериальной оптимизации. Это целесообразно производить в силу следующих причин. Оптимальность работы большинства аналого-цифровых схем определяют сразу несколько показателей. Одни характеризуют работу аналоговой части, другие – цифровой, а третьи – работу всего устройства. При этом между определенными показателями могут существовать противоречия: улучшение одного из них приводит к ухудшению другого. Поэтому в подобных задачах необходимо использовать обобщенный критерий оптимальности, учитывающий и частные критерии оптимальности, и взаимное влияние между ними.

Таким образом, в докладе предлагается следующая методика оптимального проектирования аналого-цифровых схем:

1. Выбор частных критериев оптимальности ($f_i(X)$, X – вектор варьируемых параметров) аналоговой и цифровой частей схемы проектируемого устройства.
2. Выявление компромиссных критериев и построение обобщенного критерия оптимальности $F(X)$.
3. Оптимизация аналоговой части схемы.
4. Оптимизация цифровой части схемы.
5. Оптимизация проектируемой схемы в целом.
6. Анализ полученного решения.

На первом этапе, исходя из особенностей проектируемого устройства, его назначения и требуемых характеристик, выбираются частные критерии оптимальности аналоговой, цифровой частей и всего устройства в целом.

Далее для формирования обобщенного критерия оптимальности необходимо осуществить нормирование частных критериев. Процесс нормализации заключается в этапах перехода частных критериев к единой размерности (безразмерности), сведения их к одной точке отсчета и перехода к равноценным шкалам (одному масштабу). Наиболее полно все перечисленные этапы могут быть выполнены при использовании следующего преобразования:

$$\tilde{f}_i(X) = c_i \cdot f_i(X) - d_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

где $c_i = \frac{1}{f_i^1(X) - f_i^2(X)}$ – масштабный коэффициент;

$d_i = \frac{f_i^2(X)}{f_i^1(X) - f_i^2(X)}$ – коэффициент сдвига, корректирующий начало отсчета;

$\tilde{f}_i(X)$, $f_i^1(X)$, $f_i^2(X)$ – нормированное, наилучшее и наихудшее значения частных критериев оптимальности соответственно.

Приведенные преобразования позволят осуществить свертку обобщенного (векторного) критерия оптимальности. При этом используют методы двух групп:

– методы, основанные на последовательной оптимизации по частным критериям (метод ведущего компонента, оптимизация по ранжированной последовательности критериев, метод последовательных уступок и др.);

– методы, основанные на получении обобщенных скалярных критериев (методы аддитивной и мультипликативной свертки компонентов обобщенного критерия с весовыми коэффициентами, метод идеальной точки, метод вероятностной свертки).

При проектировании схем устройств биомедицинской электроники использовать методы первой группы нецелесообразно, так как в данном случае решение задачи оптимизации носит последовательный характер, что приводит к возможности потери компромиссного решения уже на первых шагах оптимизации.

В подобных задачах предлагается использовать методы, учитывающие важность различных частных критериев, такие как методы аддитивной и мультипликативной свертки. Обобщенный критерий оптимальности в них формируется следующим образом:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \tilde{f}_i(X), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{или} \quad F(X) = \prod_{i=1}^n [\tilde{f}_i(X)]^{\lambda_i}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1,$$

где λ_i – соответствующие весовые коэффициенты.

На следующих этапах предлагаемой методики осуществляется отдельно оптимизация аналоговой и цифровой частей проектируемой схемы. При этом задачу оптимизации цифровых схем целесообразно разбить на две подзадачи:

1. Устранение рисков сбоя и критических состязаний сигналов в проектируемой схеме.

2. Структурная оптимизация проектируемой схемы.

Для решения первой подзадачи разработано много методов, которые можно объединить в три группы: структурные, функциональные и конструктивно-технологические. На данном этапе проектирования схемы предлагается использовать методы тактирования или стробирования (структурные) [1], так как они являются наиболее универсальными. Суть тактирования заключается в следующем. Любая синхронная схема может быть разделена на регистры хранения и асинхронные узлы. При тактировании ко всему цифровому устройству подводится система синхронизирующих сигналов, которые обеспечивают запись информационных сигналов в регистры хранения через время, которое превышает самый длинный процесс неопределенности, то есть самую большую задержку во всех трактах схемы. Если же необходимо лишь очистить сигнал от рисков сбоя, а не запомнить его, то используется метод стробирования, который реализуется соответствующим построением комбинационной схемы. Достоинством данных методов является то, что разработчику не требуется вникать в специфику протекания переходных процессов, в характер возникающих гоночных ситуаций, не нужно знать минимального значения задержки и т.д.

Однако, при этом следует учитывать то, что стробирование осуществляется комбинационной схемой и деформирует длительность информационного сигнала, а

тактирование осуществляется последовательностной схемой и сдвигает во времени информационный сигнал.

При решении задачи структурной оптимизации проектируемой схемы необходимо руководствоваться рядом требований [2]:

- учет топологических параметров и особенностей схемы;
- учет паразитных параметров и временных задержек межсоединений;
- учет потребляемой мощности схемы при оптимизации временных параметров;
- минимальное количество итераций при расчетах.

Таким образом, постановкой задачи структурной оптимизации цифровой схемы является минимизация:

- задержки критического пути (пути, имеющем наибольшую временную задержку схемы) до требуемого значения на посттопологическом этапе проектирования цифровых схем;
- потребляемой схемой мощности при оптимизации временной задержки критического пути.

Удовлетворение этих двух условий обеспечит компромисс между двумя взаимоисключающими требованиями, предъявляемыми к проектированию цифровых ИС. Для достижения первой цели элементы критического пути делятся на логические группы, и посредством выбора и соответственного топологического распределения для этих групп получают оптимальные решения, что, в свою очередь, приводит к уменьшению задержки критического пути. Логической группой является группа цифровых элементов, состоящая по меньшей мере из одного элемента, находящегося на критическом пути, и из элементов, непосредственно присоединенных к входам этого элемента. Для достижения второй цели применяются характеристики элементов цифровой библиотеки, благодаря чему становится возможным достижение минимума потребляемой схемой мощности с высокой точностью.

После осуществления оптимизации аналоговой и цифровой частей, на основании полученных частных решений, производится оптимизация всей схемы в целом.

Заключительным этапом является анализ полученного решения (определение значения обобщенного критерия оптимальности). В случае неудовлетворения найденного решения желаемым характеристикам следует вернуться на этапы оптимизации аналоговой и цифровой частей разрабатываемого устройства, найти новые частные решения и т.д.

Таким образом, предлагаемая методика проектирования аналого-цифровых схем с использованием обобщенного критерия носит итерационный характер. Условием прекращения данного процесса может быть получение максимального значения обобщенного критерия оптимальности.

Определим значение обобщенного критерия оптимальности $K_{\text{ОПТ}}$ измерителя частоты сердечных сокращений (ЧСС) [3], структурная схема которого представлена на рис.1.

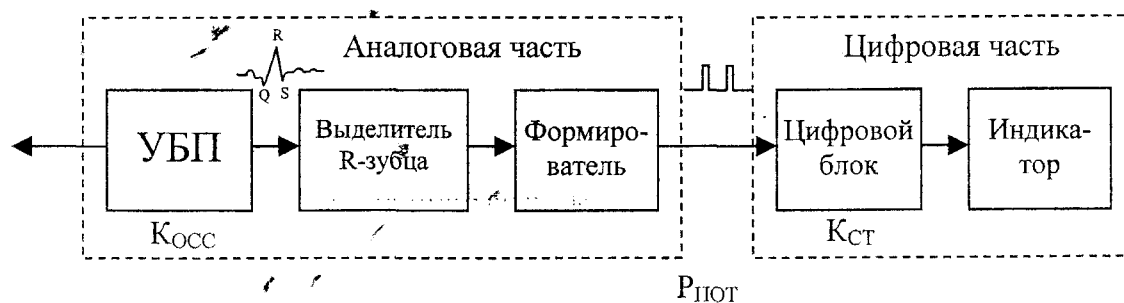


Рис.1

Прибор состоит из двух частей – аналоговой и цифровой.

Электрокардиосигнал (ЭКС) снимается с пальцев рук при помощи трех электродов, после чего поступает на вход усилителя биопотенциалов (УБП). Далее усиленный ЭКС подается на схему выделения R-зубца (импульс кардиосигнала, имеющий максимальную амплитуду) и на формирователь, на выходе которого формируются прямоугольные импульсы, соответствующие частоте сердечных сокращений. Эти импульсы поступают в цифровой блок.

Основным элементом цифрового блока является микроконтроллер PIC16F628. Здесь происходит измерение периодов импульсов и вычисление ЧСС, которая впоследствии выводится на индикатор.

Для оценки оптимальности исследуемой схемы воспользуемся следующими частными критериями:

- коэффициент ослабления синфазного сигнала K_{occ} , определяется характеристиками электродов и применяемых операционных усилителей в УБП;
- коэффициент стабильности работы цифрового блока $K_{ст}$, зависит от оптимальности настройки кварцевого генератора микроконтроллера, от его чувствительности к изменению значения напряжения питания и пр.;
- потребляемая мощность $P_{пот}$.

Значения нормированных частных критериев оптимальности составили:

$$\tilde{K}_{occ} = 0,7; \quad \tilde{K}_{ст} = 0,8; \quad \tilde{P}_{пот} = 0,65.$$

Для формирования обобщенного критерия использовали мультипликативный критерий:

$$K_{опт} = (\tilde{K}_{occ})^{\lambda_{\tilde{K}_{occ}}} \cdot (\tilde{K}_{ст})^{\lambda_{\tilde{K}_{ст}}} \cdot (\tilde{P}_{пот})^{\lambda_{\tilde{P}_{пот}}}.$$

Были заданы следующие весовые коэффициенты частных критериев оптимальности: $\lambda_{\tilde{K}_{occ}} = 0,5$; $\lambda_{\tilde{K}_{ст}} = 0,3$; $\lambda_{\tilde{P}_{пот}} = 0,2$.

Таким образом, $K_{опт} = (0,7)^{0,5} \cdot (0,8)^{0,3} \cdot (0,65)^{0,2} = 0,72$. Улучшение данного значения может быть достигнуто:

- введением специальной схемы ослабления синфазной помехи;
- использованием элементов (операционных усилителей, индикатора и пр.) с меньшей потребляемой мощностью;
- использованием микроконтроллера с лучшими техническими характеристиками и т.д.

Таким образом, применение обобщенного критерия оптимальности является эффективным средством не только при проектировании схем аналого-цифровых устройств, но и при оценивании оптимальности схем уже разработанных устройств.

Литература

1. Воробьев Н.В. Рекомендации по устранению рисков сбоя в комбинационных схемах // ChipNews, 1998, №4. – с. 47-49.
2. Оганесян Д.Д. Разработка способов структурной оптимизации цифровых схем: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Ереван: ГИУА, 2004.
3. Заец Н. Пульсотонометр // Схемотехника, 2004, №3. – с. 28-31.