

СИМУЛАЦИЯ НА ЦИФРОВИ ФИЛТРИ С ПОМОЩТА НА ЕЛЕКТРОННИ ТАБЛИЦИ

инж. Емил Димитров Манолов, к.т.н.

Технически университет – София, кат. "Електронна техника"

1. Въведение

Електронните таблици /ET/ са известни като евтин, универсален и широко разпространен програмен продукт за изчисления [1]. Те притежават едновременно възможности за обработка на информацията и за визуализация на резултатите в графичен вид. Освен във финансова област и статистиката, те намират приложение в учебно-изследователската работа, като средство за инженерно моделиране и инструмент за решаване на научно-приложни задачи – [2], [3] и др.

В доклада са представени някои от възможностите за приложение на електронните таблици при симулация на цифрови филтри. Използвана е програмата LOTUS 1-2-3, която се характеризира с универсалност и има най-широко разпространение и съвместимост с другите видове таблици.

2. Структура на цифровите филтри /ЦФ/.

Цифровите филтри се състоят от последователно свързани дискретизатор, аналогово-цифров преобразувател /АЦП/, цифров процесор /ЦП/, цифрово-аналогов преобразувател /ЦАП/ и изглаждащ филтър.

Входният аналогов сигнал $x(t)$ се дискретизира и квантова посредством дискретизатора и аналогово-цифровия преобразувател АЦП. Полученият цифров сигнал се обработва от цифровия процесор ЦП, осигуряващ желаната предавателната характеристика на филтъра. С помощта на цифрово-аналоговия преобразувател ЦАП и изглаждащия филтър на изхода се получава филтриран аналогов сигнал $y(t)$.

При обработка на сигналите в реално време, ЦФ се реализират апаратно – на базата на стандартни интегрални схеми, като специализирани интегрални схеми или като възли на големи интегрални схеми. С оглед минимизиране на риска, при практическото изпълнение на устройствата, е необходимо предварително да съществува пълна и обективна информация за параметрите и характеристиките на проектирания филтър. За целта се използва компютърно моделиране [4], [5] и [6].

Основната задача при компютърното моделиране на цифровите филтри е, на базата на зададената предавателна характеристика и параметрите на отделните функционални възли, да се получи информация за времевите и честотните характеристики на филтъра и влиянието на ограничения брой разреди при квантуването и обработката на сигналите. Изследването може да се извърши с помощта на аналитични и имитационни модели [4]. Подходящото им съчетаване води до получаване на по-пълна информация за характеристиките на филтъра и дава възможност за задълбочено изучаване на поведението му в дискретни моменти от времето и при различни стойности на параметрите.

Компютърното моделиране може да се осъществи с използването на универсални езици за програмиране [5], или специализирани системи

за моделиране [6]. И двата подхода са трудоемки и изискват задълбочени познания по съответния език.

Програмите за електронни таблици са подходяща алтернатива на посочените по-горе подходи, осигуряваща лесно и бързо програмиране на аналитичните изрази и разликовите уравнения, генериране на входните сигнали и визуализация на резултатите.

3. Реализация на моделите с помощта на електронни таблици.

3.1. Реализация на аналитичните модели.

Обикновено цифровите филтри се задават с тяхната предавателна характеристика:

(1)

$$H(z) = Y(z)/X(z).$$

От нея, чрез подходящи преобразувания, могат да се получат аналитични изрази за амплитудно-честотната АЧХ и фазово-честотната ФЧХ характеристики. За изследването им се съставя таблица, в първата колона, на която се записват последователни дискретни стойности на честотата, а в съседните колони се въвеждат формулите за АЧХ и ФЧХ. След автоматичното изчисление, във всеки ред, срещу стойността на честотата се получават резултатите за коефициента на усиливане и фазата на сигнала. С помощта на командите за визуализация те могат да се представят в стандартен графичен вид.

3.2. Реализация на блоковете на имитационния модел.

3.2.1. Блок за генериране на цифрови сигнали.

На базата на [7], произведен синусоидален сигнал $x(t)$ може да се представи с дискретната редица $x(nt)$ по формулата:

(2)

$$x(nt) = X \cdot \sin(2\pi \cdot (fs/fa) \cdot n)$$

където: fs е честотата на генеририания сигнал; fa е честотата на дискретизация; X е амплитудата на сигнала; n е номера на отчета.

Синусоидалните сигнали се използват при изследване на честотната характеристика на филтрите. За моделирането им, в първата колона на таблицата, се записват последователно стойностите на отчетите n . В съседната колона, на всеки ред, срещу стойността на n , се въвежда ϕ -ла (2). В резултат, в клетките на втората колона, се получават последователно стойностите на функцията за всеки един отчет. Те съвпадат със стойностите, които биха се получили на изхода на идеален АЦП, квантуващ отчетите на сигнал с честота fs при честота на дискретизация fa .

На фиг.1 са показани резултатите от симулирането на сигнали с честоти $fs1=0.01fa$, $fs2=1.01fa$ и $fs3=2.01fa$ и амплитуди - 1, 2 и 3. Същевременно е демонстриран и "ефекта на преименуване" [8], при който по-високите честоти $fs2$ и $fs3$ се проявяват като по-ниската $fs1$.

За получаване на импулсната и преходната характеристики на цифровите филтри е необходимо да се проследи реакцията им при подаване на единичен импулс или единична поредица на входа. За симулирането на тези два сигнала, във всяка от клетките, срещу номера на съответния отчет, се записва 0 или 1.

3.2.2. Блок цифров процесор.

Предавателната функция на цифровия филтър може да се изрази с

помощта на линейни разликови уравнения, включващи следните елементарни операции: закъснение на входни (изходни) отчети; сумиране (изваждане) на отчети; умножение на отчети с коефициент. И трите вида операции могат да се реализират просто с помощта на ЕТ, при което, във всеки един момент, в таблицата се намират едновременно резултатите за последователни отчета.

3.2.3. Блок за възстановяване на аналоговия сигнал.

Резултатите от обработката на сигнала в дискретните моменти от времето се получават на изхода на цифровия процесор. Представляват поредица от числа, от които, чрез командата за визуализация, може да се получи в графичен вид изходния сигнал и да се сравни с входния по форма, амплитуда и фаза.

4. Пример.

Ще бъде изследван нискочестотен филтър, чиято предавателна характеристика има вида:

$$(3) \quad H(z) = D0 \cdot [(1+z) / (C0+z)]$$

За честота на среза $f_g = 100$ Hz, широчина на лентата на входния сигнал 3.4kHz и при избрана честота на дискретизация $f_a = 10$ kHz ($\Omega_a = 100$), за стойностите на коефициентите се получава [8] : $D0=0.9695$ и $C0=-0.9391$.

4.1. Изследване на времевите характеристики.

Времевите характеристики на системата се получават с помощта на имитационния модел. За целта, на входа на филтъра, се симулира единичен импулс (за импулсната характеристика) или единична поредица (за преходната характеристика). Резултатът за последователни дискрета се получава на изхода на цифровия процесор и може да се представи в графичен вид. На фиг.2 е представена преходната характеристика на филтъра. По подобен начин може да се визуализира и импулсната му характеристика.

4.2. Амплитудно-честотна и фазово-честотна характеристики.

На фиг.3 и фиг.4 са показани АЧХ и ФЧХ на системата. За целта, в таблиците са въведени аналитичните изрази за характеристиките във функция от нормираната честота $\Omega = fs/f_g$. Изразите са получени от предавателната характеристика, чрез преобразуване съгласно [9] и [10].

За изследване на АЧХ и ФЧХ на системата може да се използува и имитационния модел. В този случай, на екрана на монитора, последователно може да се проследи формата на изходния сигнал във функция от дискретното време при произволно избрани честоти на входния сигнал и да се отчетат стойностите на амплитудата и фазата му. Изследването на имитационния модел наподобява практическото изследване на системата, реализирана върху макет. При това, в този случай, смяната на коефициентите и дори структурата на филтъра се извършва бързо и просто, чрез промяна на стойностите или формулите, записани в клетките.

В табл.1. са показани част от резултатите от изследването на АЧХ, получени, с помощта на аналитичния и имитационния модел. От практическа гледна точка, резултатите са идентични.

Табл.1. Зависимост на A/A_0 (dB) от нормираната честота.

f_s/f_g	0.1	0.5	1	2	4	8	10	20	34
Модел	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Аналитичен	0.04	0.97	3.01	7.00	12.4	18.3	-20.3	-27.3	-35.3
Имитационен	-0.04	-0.97	-3.01	-7.01	-12.4	-18.4	-20.4	-27.3	-35.3
С ограничени брой разреди	0.03	1.16	3.06	7.18	12.6	-19.2	-20.6	-30.1	-36.1

4.3. Отчитане на влиянието на ограничения брой разреди върху АЧХ.

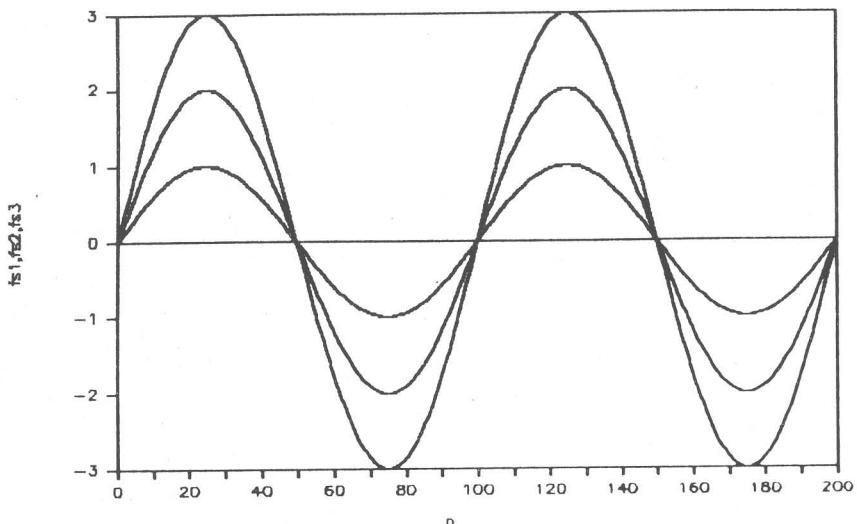
Поради ограничения брой разреди при квантуването и обработката на цифровите сигнали, реалните характеристики на цифровите филтри се различават от идеалните. Представа за тази разлика може да се получи с имитационния модел на системата. В табл.1, ред 3 са показани резултатите, получени при моделиране на филтера, реализиран на базата на 6-битови АЦП и ЦАП и 11-разредно изчислително устройство, при стойности на коефициентите $D0=1$ и $C0=-1+(1/16)$. Анализът на резултатите показва, че филтерът може да се реализира по посочения начин.

5. Заключение.

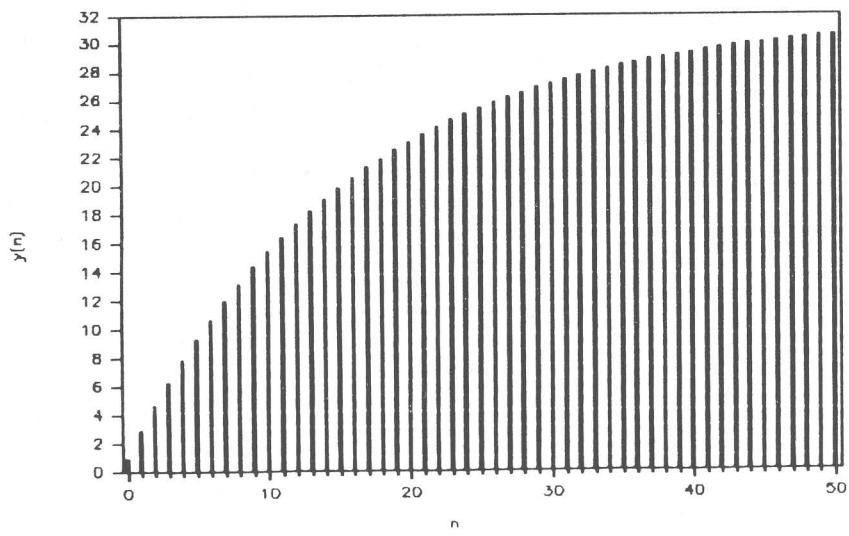
Предложият подход може да намери приложение в учебно-изследователската работа и като средство за анализ, моделиране, изучаване и демонстрация на функционирането на системи за цифрова обработка на сигнали.

6. Литература.

- [1]. Львовский Г.Д., Львовская М.А., Lotus 1-2-3 для бизнеса и финансов - М.: Радио и связь, 1994.
- [2]. HUELSMAN L.P., Elektrical Engineering Applications of Microcomputer Spreadsheet Analysis Programs, IEEE Transactions on Education, Vol. E-27, No. 2, May 1984.
- [3]. STANTON B.J., DROZDOWSKI M.J., DUNCAN T.S., Using Spreadsheets in Students Exercises for Signal and Linear System Analysis, IEEE Transactions on Education, Vol.36, No.1, 1993.
- [4]. под ред. Гитиса Э.И., Автоматизация проектирования аналоговых устройств, -М., Энергоатомиздат, 1987.
- [5]. под ред. Яковлева В.Н., Справочник по устройствам цифровой обработки информации, -Киев, Техника, 1988.
- [6]. Рабинер Л., Гоулд Б., Теория и применение цифровой обработки сигналов, -М., Мир, 1978.
- [7]. Хемминг Р.В., Цифровые фильтры, -М., Сов. радио, 1980.
- [8]. Титце, Шенк, Полупроводниковая схемотехника,-М.,Мир,1982.
- [9]. Конов К.И., Голденберг Л.М., Устройства за цифрова обработка на сигнали. -С., Техника, 1988.
- [10].Лем Г., Аналоговые и цифровые фильтры, -М., Мир, 1982.



ФИГ. 1.



ФИГ. 2.

