

APPLICATION OF AUTOMATED DESIGN SYSTEMS IN RELIABILITY ANALYSIS OF ELECTRONIC DEVICES

Papanchev Toncho, Technical University – Varna, t.papanchev@tu-varna.bg

Georgiev Anton, Technical University – Varna, georgiev_an@yahoo.com

Abstract: Nowadays the design of modern electronic products is closely related to the use of CAD systems. The capabilities of these systems include simulations of the circuit operation, in order to assess the adequacy of the ongoing processes. The modules for computer simulations can provide and analyze large amounts of data related to working modes of the constituent components of the circuits. In this paper, the possibilities of using such simulation modules to the process of reliability predicting are discussed. An algorithm for reliability evaluation with simulation data is proposed.

Keywords: reliability, stress redundancy, CAD systems, Monte Carlo simulations

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО ПРОЕКТИРАНЕ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОННИ ИЗДЕЛИЯ

Тончо Папанчев, Технически Университет – Варна, t.papanchev@tu-varna.bg

Антон Георгиев, Технически Университет – Варна, georgiev_an@yahoo.com

Абстракт: Проектирането на съвременните електронни изделия и системи се базира на различни софтуерни продукти за автоматизирано проектиране, популярни още като CAD/CAM системи. Възможностите на тези системи включват компютърното симулиране на работата на проектираните електронни схеми, с цел постигане на предварителна оценка на протичащите в схемата процеси. Чрез модулите за компютърна симулация в CAD/CAM системите могат да бъдат анализирани данните, даващи информация за режимите на работа и натоварването на съставните компоненти на схемите. В настоящата статия се дискутират възможностите за използване на тези модули в процеса на прогнозиране на надеждността на електронните схеми. Предложен е алгоритъм за оценяване на надеждността на електронна схема, въз основа на данните от нейната компютърна симулация.

Ключови думи: надеждност, излишък по натоварване, системи за автоматизирано проектиране, Монте Карло симулации.

ВЪВЕДЕНИЕ

Електрическите изчисления на схемите се правят за номинален режим на работа, което е сериозна предпоставка за разминаване на създадения симулационен модел с реалната схема с присъщите ѝ възможни гранични състояния, породени от толерансите в

стойностите на параметрите на отделните елементи, изграждащи схемата. Несъответствието на реализирания симулационен модел и реалната схема може да бъде породено и от наличието на флуктуации във входните сигнали, захранващото напрежение, промените в температурата, атмосферното налягане, влажността на въздуха и др. външни фактори. По правило, в етапа на проектиране, толерансите се вземат под внимание най-вече при оценяване на грешката при измервателната електроника [1] и при определяне на отклоненията на основните изходни показатели на устройствата. Трябва да се отчита обаче и фактът, че изменението на работните електрически натоварвания, породено от различните съчетания на стойности на елементите, могат да доведат до промяна на режима на работата им и оттам да се влошат показателите по надеждност на устройството като цяло. Ето защо, за да се повиши ефективността на надеждностния анализ, е релевантно още преди изработването на прототип на конкретното електронно изделие да се реализират симулационни процедури, даващи оценка на съвместното въздействие на отклоненията от номиналните стойности на основните параметри на всички градивни елементи, чрез които се реализира принципната схема на изделието.

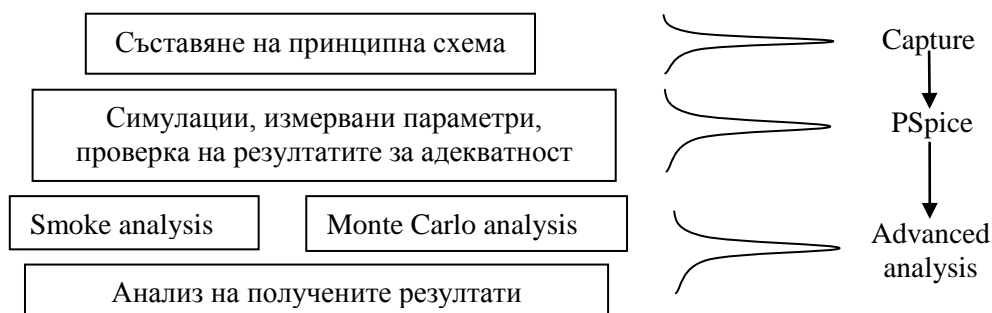
В следствие от вариациите на параметрите на елементите и на захранващото напрежение могат да се получат редица нежелани ефекти, като:

- влошаване на надеждностните показатели на изделието – повишаване интензивността на внезапните откази, нарастване на вероятността за отказ, понижаване на средното време между отказите и т.н.;
- намаляване на техническия ресурс и на експлоатационният срок на електронното изделие поради изнасяне на граничното състояние напред във времето (ускорено стареене и от там, преждевременно настъпване на параметрични откази);
- понижаване на коефициента на готовност на съоръженията, управлявани от електронната система, и свързаното с това понижаване на рандемана на производствения процес и нарастване на обема от пропуснати ползи за дадената индустриална единица.
- нарастване разходите за аварийни ремонти, целящи отстраняване на възникналите откази;
- влошаване на условията за безопасност на персонала, а понякога, дори застрашаване на здравето и живота на големи групи от хора, не участващи пряко или косвено в производствения процес и не ангажирани по никакъв начин с експлоатацията на конкретната електронна система.

Нарушаването на сигурността на хората, като и преките и косвени загуби от влошаването на надеждностните показатели на електронните системи и съоръжения, налагат необходимостта от изследване и анализ на влиянието на толерансите още в ранните етапи на проектирането. Поражда се обективно обусловена необходимост от търсене и прилагането на различни методи и средства за изследване и комплексен анализ на работата на електронните изделия, основаващ се не само на номиналните стойности на параметрите на изграждащите ги елементи, а и такива, които отчитат и прогнозираят възможните състояния на електронния обект, при отклонения на действителните стойности от номиналните стойности на параметрите, в рамките на производствените толеранси. За целта могат да се приложат различни симулационни продукти, даващи възможност за събиране и анализ на статистическа информация и прилагането на тази информация още в етапите на проектиране и избор на схемни решения.

ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА НЯКОИ МОДУЛИ ЗА СИМУЛАЦИЯ ПРИ НАДЕЖДНОСТНИЯ АНАЛИЗ

Средата за автоматично проектиране *OrCAD 16.0* е сред най-предпочитаните за проектиране на електронни устройства. Това е причината да разгледаме предлаганите от този продукт средства за симулация и статистическа обработка на натрупаната информация за повишаване на надеждността и оптималния избор на елементна база. Модулите за симулации в *OrCAD 16.0* дават възможност за пълен електрически анализ на работата на изследваната схема [2],[3]. Могат да се изчислят стойностите на електрическите величини, които определят пряко или индиректно електрическото или термичното натоварване на компонентите. Фигура 1 представя последователността на работа и модулите, които можем да използваме при оценка на надеждността на изделията.



Фиг.1. Обобщена схема на работа в среда *OrCAD*

В табл.1 са представени параметрите на работните режими, които се използват при различните стандарти за анализ на работния режим и натоварването на електронните компоненти, и които подлежат на оценка посредством модулите *PSpice* и *Pspice Advanced Analysis*.

Стандарти Компоненти	MIL-HDBK-217F[4]	Telcordia SR 332[5]	IEC TR 62380[6]	FIDES 2009[7]
Резистори	средна разсейвана мощност, температура на резистора	средна и максимална разсейвана мощност, температура на резистора	средна разсейвана мощност, температура на резистора	средна разсейвана мощност, температура на резистора
Кондензатори	амплитудна стойност на напрежението	амплитудна стойност на напрежението	амплитудна стойност на напрежението	амплитудна стойност на напрежението
Индуктивни компоненти	разсейвана мощност	-	разсейвана мощност	-
Аналогови ИС	температура на прехода	температура на прехода	средна разсейвана мощност, консумиран ток	температура на прехода
Диоди	температура на прехода, работно напрежение	среден ток в права посока	средна разсейвана мощност	температура на прехода
Транзистори биполярни	температура на прехода, напрежение колектор-емитер	средна разсейвана мощност	средна разсейвана мощност	температура на прехода

Табл.1. Параметри на работния режим на компонентите, които могат да се изчислят чрез компютърна симулация.

АНАЛИЗ „SMOKE“

Анализът „Smoke“ е предназначен да оцени степента на натоварване на елементите по отношение на някои решаващи за надеждната им работа показатели - разсейвана мощност, температура на прехода, допустими стойности на протичащия ток или приложеното напрежение.

Отправна точка за анализа са допустимите граници по тези показатели на използваните елементи. Такива данни се съдържат в техническата документация, предоставяна от производителите. За пасивните елементи, като резистори, кондензатори и бобини, тези параметри се задават едновременно за всички елементи като общо променливи, или като конкретни стойности, записвани в списъка със свойствата на отделните елементи. Вторият вариант е с приоритет. Общите променливи се въвеждат чрез специален елемент, наречен „Variables“. Полупроводниковите елементи трябва да имат разработен симулационен модел, в който да има раздел „Smoke“ с параметрите, касаещи надеждната им работа. Таблица 2 представя част от параметрите на елементите и показателите по натоварване.

Предварителните условия за успешно провеждане на симулационните изследвания са следните:

- а) елементите в схемата трябва да имат присъединени симулационни модели;
- б) изградена функционираща принципна схема и успешно проведени начални симулации в *PSpice*;
- в) предварителен анализ за ограничаване на набора от изследвани елементи и за подбор на параметрите за изчисление в схемата.

Компонент	Символ	Описание	Стойност по подразбиране
Резистор	RMAX	Максимална разсейвана мощност	0,25W
	RTMAX	Максимално допустима работна температура	200°C
	RSMAX	Коефициент на изменение на допустимата разсейвана мощност от температурата	0.005W/°C
Кондензатор	CSMAX	Коефициент на изменение на допустимото напрежение от температурата	0,005V/°C
	CMAX	Номинално напрежение	50V
	CTMAX	Максимална допустима работна температура	125°C
	CIMAX	Максимален импулсен ток	1A
Бобина	LMAX	Номинален ток	5A
	DSMAX	Диелектрична якост	300V
Транзистор	IC	Максимален колекторен ток	
	VCB	Максимално напрежение колектор-база	-
	VCE	Максимално напрежение колектор-емитер	-
	VEB	Максимално напрежение емитер-база	-
	PDM	Максимална разсейвана мощност	-
	TJ	Максимална температура на прехода	-
Диод	IF	Максимален ток в права посока	-
	VR	Максимално обратно напрежение	-
	TJ	Максимална температура на прехода	-

Табл.2. Основни параметри в анализ „Smoke“

За параметрите, които ще бъдат изследвани, трябва да има получени коректни резултати от направени симулации в *P Spice*. Избраните параметри могат да бъдат различни, в зависимост от вида на схемата, нейното предназначение, режими на работа, и др.

„Smoke“ анализът дава възможност за оценка на степента на натоварване по максимална стойност, средна стойност или ефективна стойност. Изходните резултати са в два формата – стойност на показателя, и процентно натоварване спрямо установената гранично допустима стойност.

При извършването на експерименти с различни по функционалност и сложност схеми можем да формулираме следните предложения за постигане на коректни и приложими резултати:

- при наличие на начални преходни процеси се правят две отделни симулации - една за началния период до края на преходните процеси, и една за останалия период;
- да се проверяват записите в текстовия файл с разширение “.smoke”, създаван по време на симулацията, за липсващи или недефинирани параметри; така се предотвратява изпускането на важен показател;
- по подразбиране температурата на околната среда е 27°C; ако се налага въвеждане на различна стойност, трябва да се направи в полето “Options” на симулационния профил;
- за предпочитане е да се ползват абсолютните стойности на изчисляваните параметри, а излишъкът по натоварване да се пресмята допълнително; ако искаме да ползваме директно изчисляваните нива на натоварване, трябва да се уверим, че няма редуциране на допустимите стойности на параметрите.

Ако след анализ на резултатите от анализа “Smoke” се наблюдават елементи, чието натоварване по определени параметри превишава допустимите граници или предварително зададени изисквания за излишък по натоварване, се пристъпва към замяната им с такива, които имат необходимата по-голяма издръжливост по съответните показатели.

След като сме се убедили, че всички показатели по натоварване удовлетворяват поставените изисквания, се пристъпва към оценка на влиянието на толерансите върху надеждността. За целта се извършва анализ “Monte Carlo Advanced”. За ограничаване на продължителността на симулациите и повишаване тяхната ефективност, трябва да се направи предварителен анализ и подбор на компонентите и параметрите, които да се подложат на анализа. Целесъобразно е, освен основните функционални параметри на схемата, да се изследват показателите с натоварване близо до допустимото, за да се гарантира спазване на изискванията по задание.

АНАЛИЗ “MONTE CARLO ADVANCED”

Анализът “Monte Carlo Advanced” (MCA) се използва за статистически анализ на поведението на електронната схема при изменение на стойностите на параметрите на съставлящите я елементи в рамките на техните толеранси. Изходните данни могат да се използват за оценка на рандемана на производствения процес. Чрез MCA се извършват предварително определен брой симулационни процедури, при всяка от които съставлящите елементи приемат различни по големина, случайно избрани, стойности в рамките на производствените им толеранси. При планирането на експеримента трябва да се вземат решения по няколко въпроса, свързани с оптимизирането на анализа:

А) Параметри за проследяване – избор на най-важните от функционална и експлоатационна гледна точка;

Б) Броят на симулациите – баланс между сложността на схемата, водеща до продължителни изчисления на всяка стъпка, и пълнотата на изходните данни.

Колкото по-голяма е схемата, толкова по-продължително време е необходимо за симулационния анализ на всяка стъпка. За големи схеми е препоръчително да се

направи разделяне на схемата на отделни блокове по функционалност, и анализът да се извършва по определена последователност. За постигане на добри резултати в този случай трябва да се подберат входните сигнали и изходните товари за всеки блок.

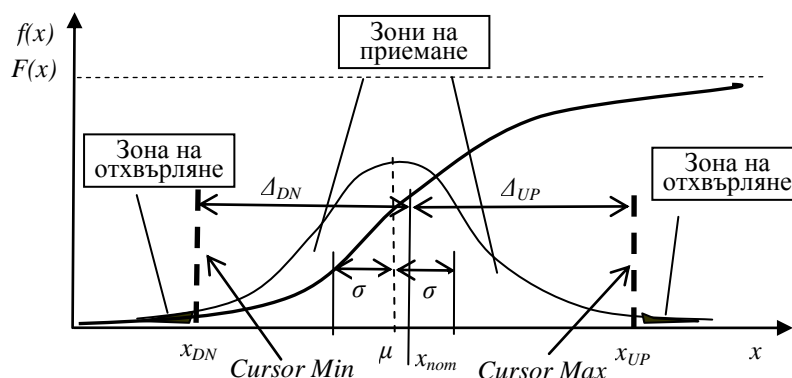
Събраните от симулациите данни се подлагат на статистическа обработка, резултат от която са таблица с основните статистически показатели и графики на плътността на разпределение на стойностите и на интегралната функция на разпределение. Освен това, всички изходни данни от симулациите и съответните набори от стойности на компонентите са достъпни за анализ и допълнителна обработка.

Статистическата обработка дава следните резултати:

- математическото очакване (средната стойност) μ и медианата m ;
- стандартното отклонение σ и относителния дял на стойностите, попадащи в обхвата $\pm 3\sigma$ и $\pm 6\sigma$;
- рандеманът на продукцията γ , „yield”, при зададени допустими отклонения от номинала Δ_{DN} и Δ_{UP} , които се фиксират върху графичното представяне на данните посредством курсорите *Cursor Min* и *Cursor Max*.

При достатъчно голям брой изпълнени симулации, поради случайния характер на изследваните процеси, плътността на разпределението на стойностите придобива нормален характер. В потвърждение на това стойностите на математическото очакване μ и медианата m би следвало да бъдат еднакви или различаващи се със стойност $|\zeta| \ll |\sigma|$.

Нека приемем, че изследваме с помощта на анализ *MCA* един ключов параметър x на дадена схема, и този параметър определя качеството на произведената продукция. Този параметър има своята номинална стойност x_{nom} , и получените посредством анализа плътност на разпределение на стойностите $f(x)$ и интегралната функция на разпределение $F(x)$, представени на фиг.2.



Фиг.2. Обобщено представяне на функциите на разпределение $f(x)$ и $F(x)$.

Изчисляваме долната x_{DN} и горната x_{UP} допустими стойности за приемане на продукцията:

$$x_{DN} = x_{nom} - \Delta_{DN}, \quad (1)$$

$$x_{UP} = x_{nom} + \Delta_{UP}, \quad (2)$$

и преместваем маркерите *Cursor Min* и *Cursor Max* съответно на x_{DN} и x_{UP} .

В полето „yield” на таблицата с резултатите се появява изчислена относителната част на симулациите, при които резултатът за параметъра x удовлетворява изискването

$$x_{DN} \leq x \leq x_{UP}. \quad (3)$$

В случая, когато $x_{nom} \equiv \mu$, за частта приети изделия γ , наречена „рандеман”, можем да запишем:

$$\gamma = F(x_{UP}) - F(x_{DN}), \quad (4)$$

където $F(x_{UP})$ и $F(x_{DN})$ са стойностите на интегралната функция на разпределение, имаща вида

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Нека $|A_{UP}| = |A_{DN}| = \Delta$, какъвто е преобладаващия случай в практиката. След нормализиране чрез полагане от вида

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad (6)$$

получаваме Лапласовите функции:

$$F(x_{DN}) \rightarrow \Phi \left(-\frac{x_{DN} - \mu}{\sigma} \right) = \Phi \left(-\frac{\Delta}{\sigma} \right), \quad (7)$$

и

$$F(x_{UP}) \rightarrow \Phi \left(\frac{x_{UP} - \mu}{\sigma} \right) = \Phi \left(\frac{\Delta}{\sigma} \right) = 1 - \Phi \left(-\frac{\Delta}{\sigma} \right). \quad (8)$$

Така за рандемана γ получаваме:

$$\gamma = 1 - 2 \cdot \Phi \left(-\frac{\Delta}{\sigma} \right). \quad (9)$$

Тъй като стойността на Δ е външно зададена, виждаме, че големината на γ зависи единствено от стойността на стандартното отклонение σ .

При процедурата за контрол на качеството и изследванията за параметричната надеждност е прието да се прилагат два критерия – “3 σ ” и “6 σ ”. Това означава, че за да се удовлетворят изискванията на критериите, трябва стандартното отклонение σ отговаря на условията $\Delta \geq 3\sigma$ (при “3 σ ”) или $\Delta \geq 6\sigma$ (при “6 σ ”).

Частта на приетите изделия при двата критерия са съответно:

$$\gamma_{3\sigma} \geq 1 - 2 \cdot \Phi(-3) = 0,9973, \quad (10)$$

$$\gamma_{6\sigma} \geq 1 - 2 \cdot \Phi(-6) = 1 - 2 \cdot 10^{-9}. \quad (11)$$

Нека в случая се прилага критерия “3 σ ”, който е масово използван в практиката. Изследваното изделие удовлетворява зададения критерий, ако изчислената стойност на стандартното отклонение σ удовлетворява неравенството $\sigma \leq \Delta/3$.

В случай, че не е удовлетворено поставеното изискване, трябва да се предприемат действия за намаляване на разсейването на стойностите на решавания параметър. Първа стъпка в тази посока е избора на компоненти с по-тесни толеранси. Ако по този начин не се постигне резултат, трябва да се търси друго схемотехническо решение.

АЛГОРИТЪМ ЗА ОЦЕНКА НА НАДЕЖДНОСТТА НА ИЗДЕЛИЯТА С ОТЧИТАНЕ НА ТОЛЕРАНСИТЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ

Разработили сме алгоритъм, с прилагането на който се постига по-широкообхватното оценяване на надеждността на изделията, позволявайки да се ограничи

неопределеността по отношение на въздействието на толерансите на изграждащите една система елементи.

Алгоритъмът включва следните стъпки:

1. Съставяне на симулационни модели на съставящите компоненти с параметри, съответстващи на техническото им описание. Изграждане на принципна схема.
2. Провеждане на симулационен анализ в *PSpice* – времеви (*Time Domain*), постояннотоков (*DC Sweep*) или променливотоков (*AC Sweep/Noise*). Проверка на адекватността на получаваните характеристики.
3. Извършва се анализ “*Smoke*”. Отчита се натоварването на компонентите по различните показатели (работна температура, разсейвана мощност и др.).
4. Сравняват се натоварванията на елементите с предварително определените за осигуряване излишъци по натоварване (определени от проектанта, или изисквани от методологията за изчисление на надеждността [7]). Елементите с недостатъчен излишък по натоварване се заменят с такива с по-висока издръжливост, правят се съответните корекции на параметри в симулационните им модели, и изпълнението на алгоритъма се връща в т.2.
5. В *PSpice* се извършват изчисления по отношение на основните параметри, обуславящи нормалната работа на схемата.
6. Извършва се анализ “*Monte Carlo Advanced*” за тези параметри.
7. По получените резултати и предварително зададените изисквания за допустими отклонения на изходните параметри и за рандемана на производствения процес, се оценява работата на схемата. При показатели на разсейването в норма се отива към т.10 от алгоритъма.
8. При по-голямо от допустимото разсейване на контролираните параметри се търси решение чрез намаляване на толерансите на елементите, пряко свързани с изходните резултати. Изпълнението на алгоритъма се връща в т.5, докато се изчерпят възможностите за въздействие чрез повишаване на точността на елементите.
9. Премахва се към търсене на ново схемотехническо решение. Изпълнението на цикъла започва отначало.
10. На база на получените данни за избраните елементи, условията на работа и степента на натоварване се извършва изчисление на интензивността на отказите по избрана предварително методология.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата статия разглежда възможностите за използване на данни, получени от компютърни симулации, при прогнозната оценка на надеждността на електронните изделия с цел релевантен избор на допустими отклонения на основните параметри на градивните елементи. Поставен е акцент върху възможните използване на приложенията „*Smoke*” и “*Monte Carlo Advanced*” от модул *PSpice Advanced Analysis* на средата за автоматизирано проектиране *OrCAD 16.0*. Въз основа на направените изследвания, постигнатите резултати и анализа на тези резултати, е предложен алгоритъм, базиран на данните от компютърната симулация, който осигурява коректно надеждно прогнозиране и оценяване на очакваното качество на изходната продукция.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект “Развитие потенциала на докторанти, постдокторанти, млади

учени и специализанти от инженерните науки в ТУ Варна и техния принос за развитие на икономика, базирана на знанието”, ОП 'РЧР', BG051PO001-3.3.06-0005.

References

- [1] КРОП А. Д., Анализ надежности электронной измерительной аппаратуры при ее проектировании, Изд. “Советское радио”, Москва, Русия, 1978
- [2] PSpice Advanced Analysis User’s Guide, <http://ebookbrowse.com/pspice-advanced-analysis-user-guide-pdf-d1336555>
- [3] Fitzpatrick D., Analog Design and simulation using OrCAD Capture and PSpice, Elsevier Ltd., 2012, ISBN 978-0-08-097095-0
- [4] Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, Notice 2, US Department of Defence, USA 1995
- [5] Telcordia Technologies Special Report SR-332 Issue 1, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, , May 2001
- [6] IEC TR 62380, Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment, First edition 2004-08, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland
- [7] UTE FIDES Guide 2009 Edition A September 2010 Reliability Metodology for Electronic System, FIDES Group, www.fides-reliability.org