ISIRI-IEC
61078
1st. Edition

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ایران–آی‌ای‌سی
۶۱۰۷۸
چاپ اول

فنون تحلیل قابلیت اعتماد- نمودار بلوکی و روش‌های بولی قابلیت اطمینان

Analysis techniques for dependability- Reliability block diagram and boolean methods

ICS:03.120.01 ; 03.120.99

به‌نام خدا

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی(رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشو ر و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سا زمانها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، مؤسسهٔ استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند .ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این مؤسسه است.

---

* موسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization
2 - International Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد« فنون تحلیل قابلیت اعتماد-نمودار بلوکی قابلیت اطمینان و روش های بولی »

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
سقایی، عباس (دکترای مهندسی صنایع)	هیئت علمی دانشگاه آزاد- نایب رئیس انجمن مدیریت کیفیت ایران
دبیر:	
عزیززاده فیروزی، عین اله (کارشناسی ارشد مهندسی معدن)	کارشناس شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
بستان دوست، احسان (کارشناسی مهندسی صنایع)	مدیرعامل شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن
ذرّه، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	کارشناس استاندارد
ذرّه، هومن (کارشناسی ارشد ریاضی)	شرکت واصل الکتریک الوند
راعی، جلال (کارشناسی ارشد مدیریت)	معاونت آماد و پشتیبانی دانشگاه هوایی- کارشناس استاندارد
طوماریان، سهیلا (کارشناسی مهندسی الکترونیک)	کارشناس مسئول دفتر امور تدوین موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش گفتار		ه
مقدمه		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۱
۴	نمادها و اصطلاحات اختصاری	۲
۵	فرضیات و محدودیت ها	۳
۵-۱	استقلال رویدادها	۳
۵-۲	رویدادهای متوالی	۳
۵-۳	توزیع زمان های تا وقوع خرابی	۳
۶	هدف و دامنه کاربرد	۴
۶-۱	ملاحظات کلی	۴
۶-۲	ملاحظات مشروح	۵
۷	مدل های اولیه	۵
۷-۱	تکوین مدل	۵
۷-۲	ارزیابی مدل	۹
۸	مدل های پیچیده تر	۱۲
۸-۱	روش‌های اجرایی کلی	۱۲
۸-۲	مدل هایی با بلوک های مشترک	۱۷
۸-۳	مدل های m از n (اقلام همسان)	۲۰
۸-۴	روش کاهش	۲۰
۹	بسط روش های نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به محاسبات آمادگی	۲۱
پیوست الف (اطلاعاتی) جمع بندی فرمول‌ها		۲۳
پیوست ب (اطلاعاتی۹ روش‌های ناهمپوشان بولی		۲۶
کتابنامه		۲۷

پیش گفتار

استاندارد " فنون تحلیل قابلیت اعتماد-نمودار بلوکی قابلیت اطمینان و روش های بولی" که پیش نویس آن درکمیسیون های مربوط توسط شرکت مهندسی قابلیت اعتماد توازن تهیه و تدوین شده و در هشتادوهشتمین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد کیفیت مورخ ۱۳۸۸/۱۰/۲۲مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود .

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 61078: 2006, Analysis techniques for dependability-Reliability block diagram and Boolean methods

مقدمه

فنون تحلیلی مختلفی برای تحلیل قابلیت اعتماد وجود دارد و روش نمودار بلوکی قابلیت اطمینان(RBD)[1] یکی از آنهاست. توصیه می‌شود که هدف از هر روش و قابلیت کاربرد هر کدام از این روش‌ها به تنهایی یا ترکیبی از آنها در ارزیابی قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم یا جز داده شده قبل از شروع کار بر روی RBD توسط تحلیلگر امتحان شود. همچنین توصیه می‌شود که نتایج قابل حصول از هر روش، داده های مورد نیاز برای انجام تحلیل، پیچیدگی تحلیل و سایر عوامل تعیین شده در این استاندارد مورد ملاحظه قرار گیرد.

نمودار بلوکی قابلیت اطمینان (RBD) نمایشی تصویری از عملکرد قابلیت اطمینان سیستم است. این نمودار اتصال منطقی اجزا (وظیفه ای) مورد نیاز برای بهره‌برداری موفق سیستم (در این استاندارد به عنوان "موفقیت سیستم" تعریف می شود) را نشان می دهد.

1 -Reliability block diagram

فنون تحلیل قابلیت اعتماد- نمودار بلوکی و روش‌های بولی قابلیت اطمینان

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، توصیف روش‌های مدلسازی قابلیت اعتماد سیستم و استفاده از مدل برای محاسبه مقیاس‌های قابلیت اطمینان و آمادگی است.

روش مدلسازی RBD اصولاً برای سیستم های بدون تعمیر و در جایی که ترتیب وقوع خرابی اهمیت ندارد به کار می‌رود. برای سیستم هایی که ترتیب وقوع خرابی ها باید به حساب آورده شود یا در جایی که تعمیرها باید انجام می‌شود، سایر فنون مدلسازی از قبیل تحلیل مارکوف[1] مناسب‌تر هستند.

بایستی خاطر نشان کرد که اگرچه واژه "تعمیر" به وفور در این استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد اما به جای آن می‌توان از واژه "توان یابی[2]" استفاده کرد. همچنین توجه داشته باشید که واژه های قلم و بلوک به صورت گسترده ای در سراسر این استاندارد و در بیشتر موارد به صورت قابل جایگزین با هم به کار می روند.

۲ مراجع الزامی

مراجع الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع شده است. به این ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شوند. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن مورد نظر می باشد.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است.

۲-۱ استاندارد ملی ایران، ۱۰۴۲۵-۱۹۱:۱۳۸۸، واژگان الکترونیک-فصل ۱۹۱-قابلیت اعتماد و کیفیت خدمت

۲-۲ استاندارد ملی ایران، ۱۳۷۱: ۱-۹۴۰، واژگان و نمادهای آماری، قسمت اول: واژه های عمومی آمار

2-3 IEC 61025, Fault tree analysis (FTA)

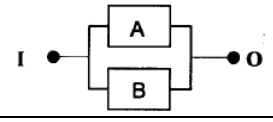
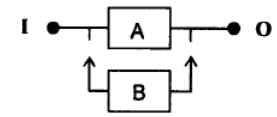
۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد تعاریف و اصطلاحات استانداردهای ملی ۱۰۴۲۵-۱۹۱ و ۱-۹۴۰ کاربرد دارد.

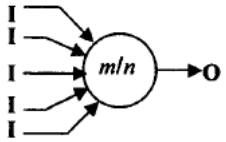
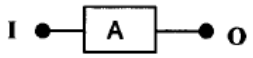
1- Markov

2 -Restore

۴ نمادها و اصطلاحات اختصاری

نماد/اختصار	معنا
A, B, C,…	در صورت کاربرد در عبارات بولی نشاندهنده آن است که اقلام A، B، C و غیره در حالت آماد هستند.
$\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}, ...$	در صورت کاربرد در عبارات بولی نشان‌دهنده آن است که اقلام A، B، C و غیره در حالت ناآماد هستند.
F_S	احتمال وقوع خرابی سیستم
$f_A(t)$	تابع چگالی احتمال بلوک A. واژه بلوک برای مشخص کردن گروهی از یک یا چند جز استفاده می‌شود.
Pr (SS|Xخراب شده)	احتمال شرطی موفقیت سیستم با این شرط که قلم X خراب باشد.
R, R(t), $R_S(t)$	قابلیت اطمینان [احتمال اینکه یک قلم بتواند وظیفه الزام شده را تحت شرایط معلوم برای فاصله زمانی معلوم (tو۰) انجام دهد].
$R_A, R_B,\ldots$	قابلیت اطمینان بلوک‌های A، B،...
R_S	قابلیت اطمینان سیستم
R_{SW}	قابلیت اطمینان مکانیزم کلید زنی و حسگری
SF	وقوع خرابی سیستم (مورد استفاده در عبارت‌های بولی)
SS	موفقیت سیستم (مورد استفاده در عبارت‌های بولی)
t	زمان ماموریت یا دوره زمانی مورد نظر
$\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$	نرخ وقوع خرابی (ثابت) بلوک‌های A، B و C
λ_{Bd}	نرخ وقوع خرابی غیرفعال بلوک B
μ_A, μ_B, μ_C	نرخ های تعمیر (ثابت) بلوک‌های A، B و C
$\binom{n}{r}$	تعداد روش‌های انتخاب r قلم از n قلم
۰و۱	این نمادها در جداول درستی برای مشخص کردن حالتهای آماد و ناآماد به کار می‌روند و به هر قلمی که سرستون است اعمال می‌شوند.
$\cap$	نمادی بولی که مشخص کننده منطق AND است برای مثال $A \cap B$، A.B (اشتراک)
$\cup$	نمادی بولی که مشخص کننده منطق OR است برای مثال $A \cup B$، A+B (اجتماع)
	ردوندانسی فعال (موازی)
	ردوندانسی حاضر در کنار[1]

1 -Standby redundancy

	m/n نمادی است که برای نشان دادن m قلم از n قلم برای موفقیت سیستم در پیکره‌بندی ردوندانت فعال مورد نیاز است.
I O	نشان دهنده ورودی است. نشان دهنده خروجی است. این قبیل نشانه‌ها برای سهولت مورد استفاده قرار می گیرند. آنها اجباری نیستند ولی در جایی که اتصال، معنای جهتی دارند، ممکن است مفید واقع شوند.
	گروه بندی تجهیزات، اجزا، واحدها یا سایر عناصر سیستم

۵ فرضیات و محدودیت ها

۵-۱ استقلال رویدادها

یکی از فرضیات بنیادی که روش‌های اجرایی این استاندارد بر مبنای آن توصیف می‌شوند این فرض است که اجزا (یا بلوک های معرف آنها) فقط در دو حالت می‌توانند وجود داشته باشند: کاری (حالت "آماد") یا خراب شده (حالت "ناآماد").

فرض مهم دیگر آن است که وقوع خرابی (یا تعمیر) **هر** بلوک نباید بر احتمال وقوع خرابی (یا تعمیر برای) هر بلوک دیگر در درون سیستم مورد مدلسازی تاثیر بگذارد. این به آن معناست که بایستی منابع تعمیری آماده، اثربخش و کافی برای سرویس دهی به بلوک‌هایی که نیازمند تعمیر هستند وجود داشته باشد و هنگامی که دو یا چند فرد در یک زمان در حال تعمیر بلوک خاصی هستند، هیچ‌کدام مانع دیگری نشوند. بنابراین وقوع خرابی و تعمیر بلوک های جداگانه از نظر آماری به صورت رویدادهای مستقل در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲ رویدادهای متوالی

RBD ها برای مدلسازی رویدادهای وابسته به ترتیب یا وابسته به زمان مناسب نیستند. در این قبیل موارد، باید از سایر فنون از قبیل تحلیل مارکوف یا شبکه های پتری[1] استفاده کرد.

۵-۳ توزیع زمان تا وقوع خرابی

اگر فرضیات مشخص شده در بند ۵-۱ معتبر باشند، هیچ قید و بندی غیر از قابلیت ردیابی ریاضیاتی بر توزیعی که می تواند برای توصیف زمان‌های تا وقوع خرابی یا تعمیر استفاده شود، وجود ندارد.

1-Petri

۶ تعیین تعاریف موفقیت / وقوع خرابی سیستم

۶-۱ ملاحظات کلی

پیش نیاز ایجاد مدل‌های قابلیت اطمینان سیستم، درکی درست از روش‌هایی است که در آن سیستم می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد. سیستم ها اغلب به بیش از یک تعریف موفقیت/وقوع خرابی نیازمندند. این تعاریف بایستی تعیین شده و فهرست شوند. نمودار RBD در سه سطح متفاوت می‌تواند ایجاد شود: سطح سیستمی، سطح زیر سیستمی (ماژول) یا سطح مونتاژ[1]. زمانی که RBD برای تحلیل بیشتر ایجاد می‌شود (برای مثال برای تحلیل FMEA)، سطح مناسب برای این چنین تحلیلی باید انتخاب شود.

به علاوه بایستی اظهارات روشنی راجع به موارد زیر وجود داشته باشد:

-وظیفه هایی که باید انجام شود.

-پارامترهای عملکردی و حدود مجاز بر این قبیل پارامترها

-شرایط محیطی و بهره برداری

در ایجاد RBD می‌توان از فنون تحلیل کیفی مختلفی استفاده کرد. بنابر این تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم باید تعیین شود. مرحله بعدی برای هر تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم، تقسیم سیستم به چند بلوک منطقی جهت تحلیل قابلیت اطمینان است. بلوک‌های خاص ممکن است معرف زیرساختارهای سیستم باشند که به نوبه خود با سایر RBD ها نشان داده می‌شوند (کاهش سیستم-به زیر بند ۸-۴ رجوع شود).

برای ارزیابی کیفی RBD، فنون مختلفی وجود دارد. بسته به نوع ساختار، می‌توان فنون بولی ساده (به زیر بند ۸-۱-۳ رجوع شود)، مسیر و/یا[2] و تحلیل‌های مجموعه برشی[3] را به کار برد. برای تعریف مجموعه برشی به استاندارد IEC ۶۱۰۲۵ (FTA) رجوع شود. محاسبات می‌توانند با استفاده از روش‌های پایه قابلیت اطمینان/آمادگی جز و روش‌های تحلیلی یا شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شوند. مزیت شبیه‌سازی مونت کارلو این است که رویدادهای RBD نباید به صورت تحلیلی ترکیب شوند زیرا خود شبیه‌سازی این امر که کدام بلوک خراب شده یا در حال انجام وظیفه است را به حساب می آورد (به زیر بند ۱-۸ رجوع شود).

از آنجا که نمودار بلوکی قابلیت اطمینان روابط منطقی مورد نیاز وظیفه سیستم را توصیف می‌کند، نمودار بلوکی لزوماً معرف روشی که سخت افزار به صورت فیزیکی متصل می‌شود نیست، اگرچه RBD در حالت کلی، تا حد امکان از اتصالات فیزیکی سیستم تبعیت می‌کند.

---

1 -Assembly

2 -And/or path

۳- cut set

گروهی از رخدادها که در صورت وقوع، موجب وقوع "رخداد رده بالا" می شود.

۶-۲ ملاحظات مشروح

۶-۲-۱ بهره برداری سیستم

از سیستم یکسان می‌توان در بیش از یک نوع وظیفه‌ای استفاده کرد. اگر برای هر نوع، از سیستم‌های جداگانه‌ای استفاده شود، با این قبیل انواع بایستی به صورت مستقل از انواع دیگر رفتار شده و متناظر با آن بایستی از مدل‌های قابلیت اطمینان جداگانه‌ای استفاده شود. در صورتی که از سیستم یکسان برای انجام تمامی این وظیفه‌ها استفاده شود، برای هر نوع بهره‌برداری بایستی از نمودارهای جداگانه‌ای استفاده کرد. اظهارات روشنی از اینکه چه چیزی موفقیت/وقوع خرابی سیستمی را برای هر جنبه از بهره‌برداری سیستم تشکیل می‌دهد، یک پیش نیاز است.

۶-۲-۲ شرایط محیطی

مشخصات عملکردی سیستم بایستی با توصیفی از شرایط محیطی که در آن سیستم برای بهره برداری طراحی شده است همراه باشند. همچنین بایستی توصیفی از تمامی شرایطی که سیستم در طول حمل و نقل، انبارش و استفاده در معرض آن قرار می‌گیرد در آن گنجانده شود.

قطعه خاصی از تجهیزات اغلب در بیش از یک محیط، برای مثال در عرشه کشتی، در هواپیما یا در روی زمین مورد استفاده قرار می گیرد. در صورتی که این امر برقرار باشد، ارزیابی های قابلیت اطمینان را هر بار می‌توان با استفاده از یک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان انجام داد ولی برای هر محیط از نرخ‌های وقوع خرابی مناسبی استفاده می‌شود.

۶-۲-۳ چرخه های کاری

رابطه بین زمان تقویمی، زمان بهره برداری و چرخه های خاموش/روشن بایستی برقرار شود. اگر بتوان فرض کرد که فرآیند تجهیزات کلیدزنی خاموش و روشن به خودی خود وقوع خرابی‌ها را بیشتر نمی‌کند و نرخ وقوع خرابی تجیهزات در انبارش قابل صرفنظر است، آنگاه نیاز است تا فقط زمان کاری واقعی تجهیزات در نظر گرفته شود.

به هر حال در برخی موارد، فرآیند کلید زنی خاموش و روشن به خودی خود علت اصلی وقوع خرابی تجهیزات است و تجهیزات در انبارش ممکن است دارای نرخ وقوع خرابی بالاتری از حالت کاری (برای مثال در شرایط مرطوب و خوردگی) باشند. در موارد پیچیده که فقط بخشهایی از سیستم با کلید زنی خاموش و روشن می‌شود، فنون مدلسازی غیر از نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان (از قبیل تحلیل مارکوف) ممکن است مناسبتر باشند.

۷ مدل‌های اولیه

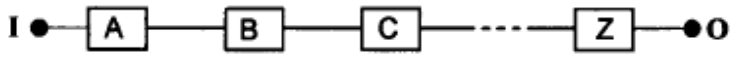
۷-۱ تکوین مدل

گام اول انتخاب تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم است. اگر بیش از یک تعریف دخیل شوند، ممکن است برای هر کدام به نمودار بلوکی جداگانه ای نیاز باشد. گام بعدی، تقسیم سیستم به بلوک‌هایی جهت بازتاب رفتار

منطقی است به گونه ای که هر بلوک از نظر آماری مستقل از بلوک‌های دیگر بوده و تا حد امکان بزرگ باشد. در عین حال هر بلوک نبایستی (ترجیحاً) ردوندانسی داشته باشد.

در عمل انجام تلاش‌های تکراری ممکن است قبل از نهایی کردن نمودار بلوکی برای ایجاد نمودار بلوکی قابلیت اطمینان ضرورت داشته باشد (هر بار گام های ارجاع داده شده به فوق به خاطر داشته باشید).

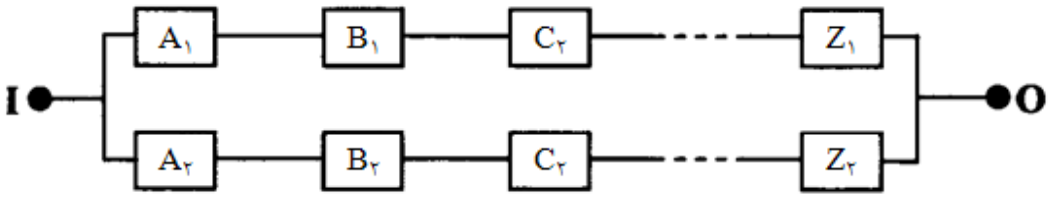
گام بعدی رجوع به تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم و ایجاد نموداری است که بلوک‌ها را برای ایجاد یک "مسیر موفق" به هم متصل کند. همان‌طور که در نمودار زیر مشخص شده است، مسیرهای موفقیت مختلف بین درگاههای ورودی و خروجی نمودار از میان ترکیبی از بلوک‌ها می گذرد که انجام وظیفه آنها برای انجام وظیفه سیستم نیاز می باشد. اگر لازم باشد تمامی بلوک‌ها برای انجام وظیفه سیستم، انجام وظیفه کنند، نمودار بلوکی قابلیت اطمینان متناظر، نموداری است که در آن تمامی بلوک‌ها به صورت سری که در شکل ۱ نشان داده شده به هم متصل هستند.



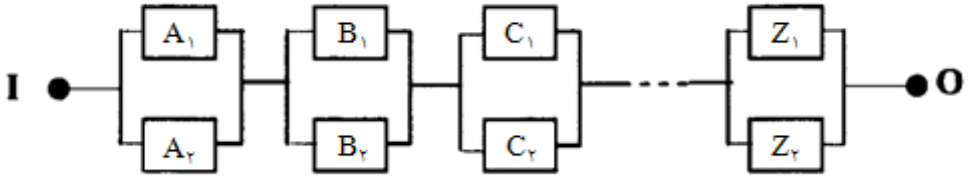
شکل ۱- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان سری

در این نمودار، I درگاه ورودی، O درگاه خروجی و A، B، C،...Z بلوک‌هایی هستند که با هم‌دیگر سیستم را تشکیل می دهند. نمودارهایی از این نوع به نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان "سری" یا "مدل‌های سری" معروف هستند.

نوع متفاوتی از نمودار بلوکی قابلیت اطمینان، زمانی مورد نیاز است که وقوع خرابی یک جز یا بلوک تنها تا زمانی که تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم مد نظر باشد، بر عملکرد سیستم تاثیری نگذارد. برای مثال اگر در مثال فوق، کل اتصال تکرار شود (ردوندانت شود) نمودار بلوکی به صورت شکل ۲ نشان داده می شود. از طرف دیگر اگر هر بلوک درون اتصال تکرار شود، نمودار بلوکی به صورت شکل ۳ نشان داده می شود. این گونه نمودارها به نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان "موازی" یا "مدل‌های موازی" معروفند. توجه داشته باشید که واژه های "تکرار شده"، "ردوندانت" و "موازی" از نظر معنا بسیار شبیه هم هستند و اغلب به صورت قابل تعویض با هم به کار می‌روند.

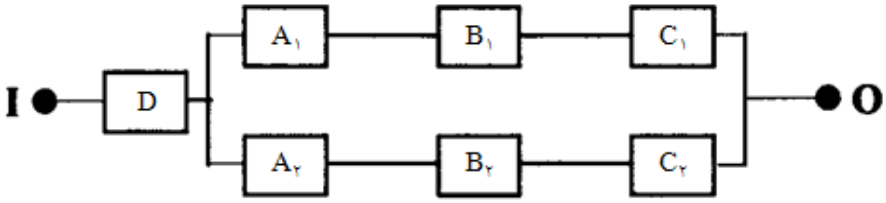


شکل ۲- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان سری های تکرار شده (یا موازی)

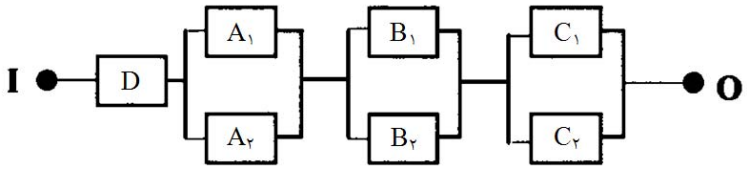


شکل ۳- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان تکرار شده (یا موازی) سری

اغلب نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان مورد استفاده برای مدلسازی قابلیت اطمینان سیستم، ترکیبهای پیچیده تری از نمودارهای سری و موازی هستند. اگر به عنوان مثال، تشکیل اتصال ارتباطی تکرار شده متشکل از سه تکرار کننده A، B و C و بلوک تامین انرژی مشترک (D) در نظر گرفته شود، چنین نمودارهایی ایجاد خواهند شد. بنابر این نمودار حاصل به صورت شکل‌های ۴ و ۵ می باشد.



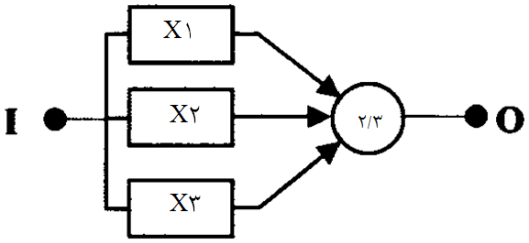
شکل ۴- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان ردوندانسی ترکیب شده



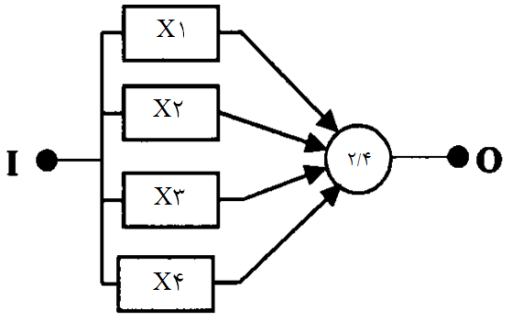
شکل۵- نوع دیگری از نمودار بلوکی قابلیت اطمینان ردوندانسی ترکیب شده

در احتساب استقلال آماری بیان شده در فوق، وقوع خرابی هر بلوک نباید منجر به تغییر در احتمال وقوع خرابی هر بلوک دیگر درون سیستم شود. به ویژه، وقوع خرابی یک بلوک ردوندانت نباید بر منابع تغذیه سیستم یا منابع سیگنال تاثیر بگذارد.

اگر تعریف موفقیت به صورتی باشد که m یا بیشتر از آن از n قلم با اتصال موازی برای موفقیت سیستم مورد نیاز باشند در این صورت نیاز مکرری به سیستم های مدلی احساس خواهد شد. در این صورت نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به صورت شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده می‌شود.

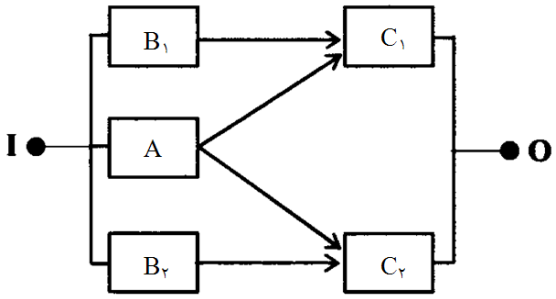


شکل ۶- ردوندانسی ۲/۳



شکل۷- ردوندانسی ۲/۴

بنابر این در شکل ۶، وقوع خرابی یک قلم تحمل می‌شود اما وقوع خرابی دو قلم یا بیشتر تحمل نخواهد شد. بیشتر نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان به آسانی درک می‌شوند و شرایط موفقیت سیستم مشخص است. البته تمامی نمودارهای بلوکی را نمی توان به ترکیبی از سیستم‌های سری یا موازی شبیه‌سازی کرد. نمودار شکل ۸ نمونه‌ای از این حالت را نشان می دهد.



شکل۸- نموداری که به آسانی با ترتیب موازی/سری بلوک‌ها نشان داده نمی شود.

در این حالت نیز نمودار گویاست. موفقیت سیستم به شرطی حاصل می شود که قلم های B۱ و C۱ هر دو کار می‌کنند یا قلم های A و C۱، یا A و C۲، یا نهایتاً B۲ و C۲ نیز کار کنند. شکل ۸ تامین سوخت برای موتورهای هواپیمای سبک را نشان می دهد. قلم B۱ تامین سوخت برای موتور درگاه (C۱)، قلم B۲ تامین سوخت برای موتور سمت راست (C۲) و قلم A نشان دهنده تامین پشتیبان برای هر دو موتور هستند. تعریف موفقیت/وقوع خرابی سیستم آن است که هر دو موتور باید قبل از خرابی هواپیما خراب شوند.

بایستی خاطر نشان کرد که در تمامی نمودارهای فوق، هیچ بلوکی بیش از یک‌بار در یک نمودار معین ظاهر نمی شود. روش‌های اجرایی تکوین بیان قابلیت اطمینان برای نمودارهایی از این نوع در بند ۸ ارائه شده است.

۲.۷ ارزیابی مدل

قابلیت اطمینان سیستم، $R_S(t)$، احتمال آن است که یک سیستم بتواند وظیفه مورد نیاز را بدون وقوع خرابی تحت شرایط بیان شده برای فاصله زمانی داده شده (t و ۰) انجام دهد. در حالت کلی این احتمال با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R_S(t) = \exp\left(-\int_{\cdot}^{t} \lambda(u)du\right)$$

که در آن $\lambda(u)$ نرخ وقوع خرابی سیستم در t=u است و u متغیر جعلی می باشد.

در ادامه، $R_S(t)$ برای سادگی به‌صورت R_S نوشته می‌شود. احتمال وقوع خرابی سیستم F_S با رابطه زیر داده‌می‌شود:

$$F_S = ۱ - R_S$$

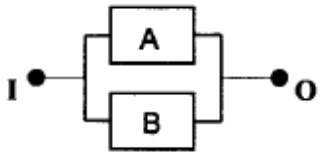
۱-۲-۷ مدل‌های سری

برای سیستمهایی نظیر آنچه که در شکل ۱ نشان داده شده، قابلیت اطمینان سیستم R_S با معادله ساده زیر داده می‌شود:

$$R_S = R_A.R_B.R_C \ldots R_Z \qquad (۱)$$

یعنی قابلیت اطمینان سیستم از ضرب قابلیت اطمینان تمامی بلوک‌های آن به دست می آید.

۲-۲-۷ مدل‌های موازی



شکل۹- ترتیب موازی بلوک‌ها

برای سیستم های که از نوع نشان داده در شکل ۹ هستند، احتمال وقوع خرابی سیستم (F_S) با رابطه زیر داده می‌شود:

$$F_S = F_A.F_B$$

بنابر این قابلیت اطمینان سیستم (R_S) با رابطه زیر داده می‌شود:

$$R_S = R_A + R_B - R_A.R_B \qquad (۲)$$

فرمول (۱) و (۲) را می توان با هم ترکیب کرد. بنابر این اگر یک سیستم به صورتی که در شکل (۲) نشان داده شده وجود داشته باشد ولی در هر شاخه فقط سه قلم موجود باشد، قابلیت اطمینان سیستم برابر است با:

$$R_S = R_{A۱}.R_{B۱}.R_{C۱} + R_{A۲}.R_{B۲}.R_{C۲} - R_{A۱}.R_{B۱}.R_{C۱}.R_{A۲}.R_{B۲}.R_{C۲} \qquad (۳)$$

به طور مشابه، برای شکل ۳، فرمول به صورت زیر است:

$$R_S=(R_{A۱}+R_{A۲}-R_{A۱}.R_{A۲}).(R_{B۱}+R_{B۲}-R_{B۱}.R_{B۲}).(R_{C۱}+R_{C۲}-R_{C۱}.R_{C۲}) \quad (۴)$$

در حالت کلی، $R_S = ۱ - \prod_{i=۱}^{n} (۱ - R_i)$

برای شکل های ۴ و ۵، معادلات قابلیت اطمینان سیستم به سادگی با ضرب معادلات (۳) و (۴) در R_D به دست می آیند.

۳-۲-۷ مدل‌های m از n (اقلام همسان)

معادله قابلیت اطمینان سیستم متناظر با شکل های ۶ و ۷ اندکی از معادلات فوق پیچیده تر است. در حالت کلی، اگر قابلیت اطمینان سیستم را بتوان با n قلم همسان موازی نشان داد که در آن m قلم از n برای موفقیت سیستم مورد نیاز است، قابلیت اطمینان سیستم R_S با رابطه زیر داده می‌شود:

$$R_S = \sum_{r=۰}^{m-n} \binom{n}{r} R^{n-r}.(۱ - R)^r \quad (۵)$$

بنابر این قابلیت اطمینان سیستمی که با شکل ۶ نشان داده می‌شود با رابطه زیربیان می‌شود:

$$R_S = R^۳ + ۳.R^۲(۱ - R) = ۳.R^۲ - ۲.R^۳ \quad (۶)$$

که در آن R قابلیت اطمینان قلم های مجزاست.

به طور مشابه، برای شکل ۷ داریم:

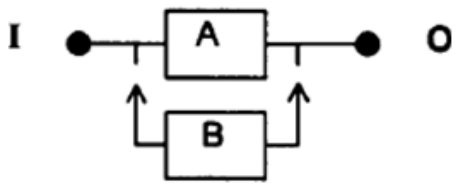
$$R_S = R^۴ + ۴R^۳.(۱ - R) + ۶.R^۲.(۱ - R)^۲ = ۳.R^۴ - ۸.R_۳ + ۶.R^۲ \quad (۷)$$

برای موارد خاصی که در آن m=n-۱، $R_S = n.R^m - m.R^n$

اگر n قلم همسان نباشند، توصیه می‌شود از بیش از یک روش اجرایی کلی استفاده شود (به ۳.۸ رجوع شود).

۴-۲-۷ مدل‌های ردوندانسی حاضر در کنار

ردوندانسی حاضر در کنار شکل دیگری از ردوندانسی است که استفاده زیادی دارد (به اولین پاراگراف پیوست الف رجوع شود). ترتیب فیزیکی این ردوندانسی در ابتدایی ترین شکل خود، با نمودار شکل ۱۰ نشان داده می‌شود.



شکل ۱۰- ردوندانسی حاضر در کنار

در این شکل، قلم A قلم فعال بر خط است و قلم B قلم حاضر در کنار بوده و منتظر است تا در زمانی که قلم A خراب می‌شود بر روی آن کلید زده شود. اگر چه در مطالب زیر مکانیسم کلیدزنی و حسگری به حساب آورده شده اما در نمودار نشان داده نشده است.

با در نظر گرفتن رویدادهای احتمالی که ممکن است در زمان ماموریت t رخ دهد می توان معادله قابلیت اطمینان R(t) سیستم را به دست آورد. این رویدادهای احتمالی عبارتند از:

الف) قلم A در سراسر زمان t کار می‌کند؛ یا

ب) قلم A با نرخ وقوع خرابی λ_Aو تابع چگالی احتمال $f_A(\tau)$ در ابتدا کار می‌کند اما در زمان $\tau\langle t$ خراب می‌شود؛ و

قلم B (نرخ وقوع خرابی λ_{Bd})در ابتدا در حالت غیر فعال است، (یا سرد است یا تحت انرژی پایین قرار دارد) و این حالت تا خرابی A (زمان τ) باقی است که در این زمان انرژی می یابد (نرخ خرابی λ_B) سپس به وسیله کلید S (قابلیت اطمینان $R_{SW}(\tau)$) با A تعویض می‌شود؛ یا

قلم B مابقی ماموریت را با احتمال $R_B(t-\tau)$سپری می کند.

این امر را می توان از نظر ریاضی به صورت زیر بیان کرد:

$$R_S(t) = R_A(t) + \int_{\cdot}^{t} f_A(\tau).R_{Bd}(\tau).R_{SW}(\tau).R_B(t-\tau).d\tau$$

اگر فرض شود که تمامی قلم ها دارای نرخ خرابی غیرفعال یا فعال ثابتی باشند، آنگاه معادله فوق به صورت زیر بیان می شود:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_A t} + \int_{\cdot}^{t} \lambda_A.e^{-\lambda_A t}.e^{-\lambda.Bd.r}e^{-\lambda_{SW}.\tau}e^{-\lambda_B(t-\tau)}.d\tau$$

یادآوری اگر قابلیت اطمینان کلید تابع زمان نبوده و تابع برخی متغیرهای دیگر (از قبیل تعداد بهره برداری‌ها، تقاضاها و غیره) باشد، ترجیح داده می شود که اصلاً از علامت گذاری تابعی استفاده نشود بلکه به جای آن از R_{SW}برای نشان دادن قابلیت اطمینان کلید استفاده شود.

در ارزیابی طرف راست معادله فوق داریم:

$$Rs(t) = e^{-\lambda_A t} + \frac{\lambda A}{\lambda_A + \lambda_{SW} + \lambda_{Bd} - \lambda_B}.\left[e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_{SW} + \lambda_{Bd})t}\right]$$

با فرض کلیدزنی کامل، $\lambda_{SW} = \cdot$، معادله به صورت زیر به دست می آید:

$$Rs(t) = e^{-\lambda_A t} + \frac{\lambda A}{\lambda_A + \lambda_{Bd} - \lambda_B}.\left[e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_{Bd})t}\right]$$

اگر نرخ وقوع خرابی غیرفعال قلم B نیز برابر با صفر فرض شود، آنگاه قابلیت اطمینان سیستم ردوندانت حاضر در کنار برابر است با:

$$Rs(t) = e^{-\lambda_A t} + \frac{\lambda A}{\lambda_A - \lambda_B}.\left[e^{-\lambda_B t} - e^{-\lambda_A t}\right]$$

اگر علاوه بر موارد فوق، نرخ های وقوع خرابی برابر هم باشند ($\lambda_A = \lambda$ و $\lambda_B = \lambda$)، آنگاه معادله قابلیت اطمینان سیستم را می توان با رابطه زیر بیان کرد:

$$R_S(t) = e^{-\lambda t.(1+\lambda t)}$$

اگر تحت این قبیل شرایط ایده آل، n قلم (به جای یک قلم) به حالت حاضر در کنار وجود داشته باشند و معادله اخیر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$RS(t) = e^{-\lambda t}\left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \frac{(\lambda t)^2}{3!} + ... + \frac{(\lambda t)^n}{n!}\right)$$

بایستی به خاطر داشت که نمودار واقعی بلوکی قابلیت اطمینان بایستی شامل بلوک‌هایی برای نشان دادن قابلیت اطمینان مکانیزم کلیدزنی به اضافه حسگری باشد که اغلب "اتصال ضعیفی" در سیستم های حاضر در کنار می‌باشد.

بایستی خاطرنشان کرد که بر خلاف تمامی مثالهایی که تاکنون در این استاندارد بررسی شده و در مابقی این استاندارد بررسی می‌شوند، احتمال بقای یک قلم (قلم B) وابسته به زمان خرابی قلم دیگر (قلم A) است. به عبارت دیگر، قلم های A و B را نمی توان مستقلاً به عنوان خراب نسبت داد. در نتیجه، سایر روش‌های اجرایی از قبیل تحلیل مارکوف را بایستی برای تحلیل سیستم های حاضر در کنار به کار برد.

۸ مدل‌های پیچیده تر

۸-۱ روش‌های اجرایی کلی

۸-۱-۱ زمینه

با استفاده از فرمول مناسب قابلیت اطمینان انتخاب شده از معادلات (۱) تا (۷) می‌توان قابلیت اطمینان RS(t) تمامی سیستم های که تاکنون در نظر گرفته شده را ارزیابی کرد. البته برای برخی از سیستم ها، RBD های متناظر را نمی توان به صورت مناسبی با هیچیک از فرمولهای فوق ارزیابی نمود. این سیستم ها پیچیده تر بوده و باید از روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان دیگری استفاده کرد. بایستی خاطر نشان کرد که RBD های پیچیده‌تر را معمولاً می‌توان با شبیه‌سازی مونت کارلو ارزیابی کرد. به هر حال این استاندارد با استفاده از این قبیل روش‌ها سر و کار ندارد.

برای روش‌های که در ادامه بررسی می‌شوند، شرط استقلال به صورتی که در بند ۵-۱ بیان شده باید اعمال شود.

۸-۱-۲ استفاده از قضیه احتمال کل

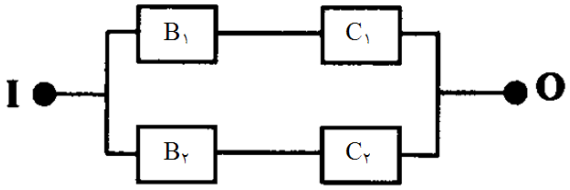
هنگام کار با نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان از نوعی که در شکل ۸ نشان داده شده است به روش متفاوتی نیاز است. یکی از این قبیل روش ها بر مبنای نظریه احتمال کل قرار دارد که در ادامه بیان می‌شود.

برای n رویداد دو به دو ناسازگار A۱، ...An که جمع احتمال‌های آنها برابر یک باشد، احتمال رویداد دلخواه B با رابطه $P(B) = P(B|A_1).P(A_1) + ... + P(B|A_n).P(A_n)$ بیان می‌شود. P(Ai) احتمال رخداد رویداد Ai و P(B|Ai) احتمال شرطی B به شرط A_i است.

فرم مناسب از فرمول فوق که برای تحلیل نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان مناسب است، استفاده مکرر از رابطه زیر می باشد:

$$R_S=P_r(SS|X_{\text{مشغول کار}}).P_r(X_{\text{مشغول کار}})+P_r(SS|X_{\text{خراب شده}}).P_r(X_{\text{خراب شده}})$$

در معادله فوق، RS قابلیت اطمینان سیستم، $P_r(SS|X_{\text{مشغول کار}})$ قابلیت اطمینان سیستم (احتمال موفقیت سیستم) با شرط مشغول کار بوده بلوک خاص X و $P_r(SS|X$ (خراب شده قابلیت اطمینان سیستم با شرط خراب بودن قلم خاص X است. برای مثال، اگر در شکل ۸، قلم A خراب شده باشد، نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به صورت زیر نشان داده می‌شود.

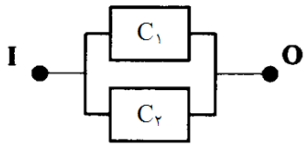


شکل۱۱- نمایش شکل ۸ در صورتی که قلم A خراب شده باشد.

بنابر این

$$Pr(SS|A_{\text{خراب شده}})=RB1.RC1+RB2.RC2-RB1.RC1.RB2.RC2$$

مشابهاً زمانی که A مشغول کار است، نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به صورت ساده و با شکل ۱۲ نشان داده می‌شود.



شکل۱۲- نمایش شکل ۸ در صورتی که قلم A مشغول کار باشد.

بنابر این

$$P_r(SS|A_{\text{ مشغول کار}})=R_{C1}+R_{C2}-R_{C2}.R_{C2}$$

از این رو

$$R_S=(R_{C1}+R_{C2}-R_{C2}.R_{C2}).R_A+(R_{B1}.R_{C1}+R_{B2}.R_{C2}-R_{B1}.R_{C1}.R_{B2}.R_{C2}).(1-R_A)$$

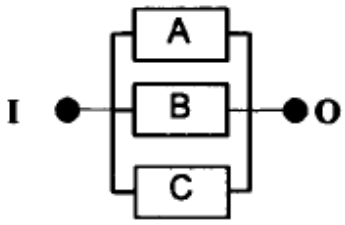
اگر $R_{C1}=R_{C2}=R_C$ و $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ معادله فوق به صورت زیر ساده سازی می‌شود:

$$RS = (۲R_C - R_C^۲).R_A + (۲R_B.R_C - R_B^۲.R_C^۲)(۱ - R_A) \quad (۸)$$

فن بیان شده در زیر بند ۸-۱-۲را می‌توان برای تصدیق معادلات (۶) و (۷) به کار برد.

۸-۱-۳ استفاده از جداول درستی بولی

مسیرهای موفقیت سیستم که توسط RBD ها تصویر می‌شود را می‌توان با عبارات بولی نشان داد. برای مثال، سه قلم A، B و C که به صورت موازی با هم اتصال دارند (یکی از آنها برای موفقیت سیستم مورد نیاز است) را می‌توان با RBD در شکل ۱۳ یا با عبارت بولی زیر نشان داد.



۱/۳ مورد نیاز

شکل ۱۳- آرایش موازی یک از سه

$$SS = A \cup B \cup C \quad (۹)$$

که در آن SS نشان دهنده موفقیت سیستم است و A، B و C نشاندهنده حالات موفقیت بلوک‌های A، B و C می باشد.

به هر حال، نمادهای A، B و C را نمی توان جهت به دست آوردن مقداری برای قابلیت اطمینان سیستم مستقیماً با احتمالات متناظر R_A، R_B و R_C جایگزین کرد. این امر به خاطر آن است که معادله (۹) در حقیقت مجموعه ای از نمادهای همپوشان (ناهمپوشان) می باشد (به بند ب.۳ رجوع شود).

$$SS = \overline{A}\overline{B}C \cup \overline{A}B\overline{C} \cup \overline{A}BC \cup A\overline{B}\overline{C} \cup A\overline{B}C \cup AB\overline{C} \cup ABC \quad (۱۰)$$

در عبارتهای کاملاً بولی، معادلات (۹) و (۱۰) معادل هستند. در معادله (۱۰) هر نماد حرفی(از قبیل A، $\overline{A}$، B، $\overline{B}$، C، $\overline{C}$) را می توان با نماد قابلیت اطمینان/عدم قابلیت اطمینان متناظر جایگزین کرد:

$$R_A, (۱ - R_A), R_B, (۱ - R_B), R_C, (۱ - R_C)$$

که معادله ای برای قابلیت اطمینان سیستم R_S به صورت زیر به دست می آید:

$$R_S = R_A(۱ - R_B)(۱ - R_C) + (۱ - R_A)R_B(۱ - R_C) + (۱ - R_A)(۱ - R_B)R_C + R_A(۱ - R_B)R_C + R_AR_B(۱ - R_C) + (۱ - R_A)R_BR_C + R_AR_BR_C \quad (۱۱)$$

راه حل ساده تر نوشتن معادله (۹) با نمادهای ناهمپوشان به صورت زیر است:

$$SS = A \cup \overline{A} \cap B \cup \overline{B} \cap \overline{A} \cap C \quad (۱۲)$$

بنابر این

$$R_S = R_A + (۱ - R_A).R_B + (۱ - R_B).(۱ - R_A).R_C \quad (۱۳)$$

می‌توان نشان داد که معادلات (۱۱) و (۱۳) با انجام ساده سازی، همسان می‌شوند.
فرآیند رسیدن به معادله (۱۱) را به صورت سیستماتیک تری می‌توان با استفاده از جداول درستی انجام داد تا معادله (۹) را به صورتی که در جدول ۱ نشان داده شده به معادله (۱۰) تبدیل شود.
با ارجاع به جدول ۱، نماد های موفقیت برابرند با (از بالا به پایین):
$\overline{A} \cap \overline{B} \cap C, \overline{A} \cap B \cap \overline{C}, \overline{A} \cap B \cap C, A \cap \overline{B} \cap \overline{C}, A \cap \overline{B} \cap \overline{C}, A \cap \overline{B} \cap C, A \cap B \bigcap C$
این نمادها ترکیب شده (به صورت"OR[1]") و معادله (۱۰) را به دست می‌دهند.

جدول ۱-کاربرد جدول درستی برای مثال شکل ۱۳

سیستم	قلم		
	C	B	A
۰	۰	۰	۰
۱	۱	۰	۰
۱	۰	۱	۰
۱	۱	۱	۰
۱	۰	۰	۱
۱	۱	۰	۱
۱	۰	۱	۱
۱	۱	۱	۱
یادآوری ۱= کاری، ۰=خراب			

در ادامه مثال نشان داده شده در شکل ۸ مورد بررسی قرار گرفته و ترکیبهای احتمالی (در کل ۳۲ ترکیب) از قلم های کاری و خراب به صورتی که در جدول ۲ نشان داده شده فهرست می‌شوند.

1-OR-ed

جدول ۲-کاربرد جدول درستی برای مثال شکل ۸

سیستم	قلم				
	A	C۲	C۱	B۲	B۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۱	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۱	۰	۰	۰
۱	۱	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۱	۰	۰
۱	۱	۰	۱	۰	۰
۰	۰	۱	۱	۰	۰
۱	۱	۱	۱	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۱	۰
۰	۱	۰	۰	۱	۰
۱	۰	۱	۰	۱	۰
۱	۱	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۰	۱	۱	۰
۱	۱	۰	۱	۱	۰
۱	۰	۱	۱	۱	۰
۱	۱	۱	۱	۱	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۱
۰	۱	۰	۰	۰	۱
۰	۰	۱	۰	۰	۱
۱	۱	۰	۱	۰	۱
۱	۰	۱	۱	۰	۱
۱	۱	۱	۱	۰	۱
۱	۰	۱	۰	۱	۱
۱	۱	۱	۰	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۱	۱
۰	۱	۰	۱	۱	۱
۱	۰	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱	۰	۰	۰	۱	۱
۱	۱	۰	۰	۱	۱
۱	۰	۱	۰	۱	۱
۱	۱	۱	۰	۱	۱
۱	۰	۰	۱	۱	۱
۱	۱	۰	۱	۱	۱
۱	۰	۱	۱	۱	۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱

یادآوری ۱= کار، ۰=خراب

ترکیب‌های موفقیت قلم ها را می‌توان از جدول ۲ انتخاب کرد و عبارت قابلیت اطمینان سیستم، مجموعه ای از نمادهای دو به دو ناسازگار است که می‌توان آن ها را به صورت زیر نوشت:

$$SS = \overline{B}_1 \cap \overline{B}_2 \cap \overline{C}_1 \bigcap C_2 \cap A \cup \overline{B}_1 \cap \overline{B}_2 \cap C_1 \cap \overline{C}_2 \cap A \cup \ldots \cup B_1 \cap B_2 \cap C_1 \cap C_2 \cap A \qquad (۱۴)$$

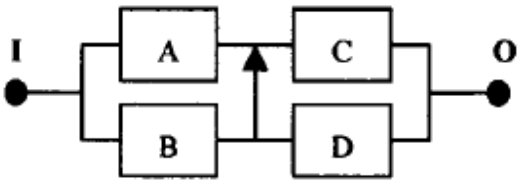
که از آن داریم

$$R_S = (1 - R_{B_1}).(1 - R_{B_2}).(1 - R_{C_1}).R_{C_2}.R_A + (1 - R_{B_1}).(1 - R_{B_2}).R_{C_1}.(1 - R_{C_2}).R_A + \ldots + R_{B_1}.R_{B_2}.R_{C_1}.R_{C_2}.R_A$$

معادله (۱۴) دارای ۱۹ نماد است (یکی برای هر ترکیبی که موفقیت را نتیجه می دهد) و برای به دست آوردن نتیجه مورد نظر، تمامی آنها باید با هم جمع شوند. از این لحاظ می‌توان مشاهده کرد اگرچه آنکه مفهوم گنجانده شده در روش جدول درستی بولی کاملاً سر راست است اما به سرعت به روشی سنگین تبدیل می‌شود. برای توصیف مشروح کاربرد کلی روش‌های بولی به پیوست الف مراجعه کنید.

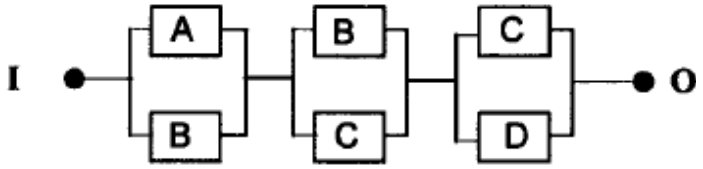
۲-۸ مدل‌هایی با بلوک های مشترک

در بند ۷ توجه داشته باشید که هیچ بلوکی بیش از یک‌بار در RBD ها دیده نمی شود. به هر حال گاهی اوقات استفاده از نمودارهای بلوکی از نوعی که در شکل ۱۴ نشان داده شده، مفید واقع می‌شود. برای مثال اقلام C و D ممکن است دو قلم با وظیفه مشابه باشند که هر کدام به عنوان نسخه های تکراری برای دیگری عمل می‌کنند. قلم A فقط می تواند به قلم C انرژی دهد و این در حالی است که قلم B قادر به تامین انرژی قلمهای C و D می باشد. این وضعیت در شکل ۱۴ نشان داده شده است. این شکل نه تنها ترتیب فیزیکی قلم ها بلکه نمودار بلوکی قابلیت اطمینان را نیز نشان می دهد. گنجاندن پیکان در نموداری از این قبیل ، اهمیت دارد.



شکل ۱۴- نمودار بلوکی قابلیت اطمینان با استفاده از یک پیکان برای کمک در تعریف موفقیت سیستم

به روش دیگر، مسیرهای موفقیت سیستم در مثال فوق را می‌توان با یک نمودار بلوکی نشان داد که در آن برخی از بلوک‌ها به صورتی که در شکل ۱۵ نشان داده شده، بیش از یک‌بار ظاهر می‌شوند. این نمودار از شکل ۱۴ و با امتحان شکل اخیر و توجه به جفت اقلامی که اگر با هم خراب شوند، سبب خرابی سیستم می‌شوند به دست‌آمده است. بنابر این شکل ۱۵ ترکیبی سری از این قبیل جفت‌هاست.



شکل ۱۵- نمایش دیگری از شکل ۱۴ و با استفاده از بلوک‌های مشترک

هنگام کار با نمودار بلوکی قابلیت اطمینان از نوع فوق، این امر نادرست است که با بلوک‌ها به عنوان جفت‌های مستقل رفتار شود و آن‌گاه قابلیت اطمینان جفت ها با همدیگر، ضرب شود. در عوض بایستی از هریک از روش‌های داده شده در زیربندهای ۸-۱-۲ و ۸-۱-۳ استفاده کرد. به عنوان مثال، با استفاده از روش توصیف شده در زیربند ۸-۱-۲، داریم:

$$Rs=Pr(SS|\text{کاری B}).Pr(\text{کاری B})+Pr(SS|\text{خراب B}).Pr(\text{خراب B})$$

که در آن، $Pr(SS|\text{کاری B})$ با نمودار بلوکی قابلیت اطمینان متشکل از بلوک‌های موازی C و D داده می‌شود. اما

$$Pr(SS|\text{خراب B})=Pr(SS|\text{خراب B}|\text{کاری C}).Pr(\text{کاری C})+Pr(SS|\text{خراب B}|\text{خراب C}).Pr(\text{خراب C})$$

$$=R_AR_C+۰$$

بنابر این

$$R_S = (R_D + R_C - R_D.R_C).R_B + R_A.R_C.(۱ - R_B)$$

یعنی

$$R_S = R_A.R_C + R_B.R_C + R_B.R_D - R_A.R_B.R_C - R_D.R_B.R_C$$

به یاد داشته باشید که شکل های ۱۴ و ۱۵ روش‌های متفاوتی برای مدلسازی یک تعریف وقوع خرابی می باشند. برای مثال، وقوع خرابی سیستمی زمانی رخ می دهد که بلوک های A و B یا بلوک های B و C یا بلوک های C و D خراب شوند. به عبارت دیگر، عبارات بولی موفقیت سیستم (SS) یا وقوع خرابی سیستم (SF) برای اشکال ۱۴ و ۱۵ یکسان هستند، یعنی

$$SS = A \cap C \cup B \cap C \cup B \cap D \qquad SF = \overline{A} \cap \overline{B} \cup \overline{B} \cap \overline{C} \cup \overline{C} \cap \overline{D}$$

با اعمال روش توصیف شده در زیربند ۸-۱-۳، می‌توان جدول ۳ را تدوین کرد.

جدول ۳- کاربرد جدول درستی برای مثال های اشکال ۱۴ و ۱۵

سیستم	قلم			
	D	C	B	A
۱	۱	۱	۱	۱
۱	۰	۱	۱	۱
۱	۱	۰	۱	۱
۰	۰	۰	۱	۱
۱	۱	۱	۰	۱
۱	۰	۱	۰	۱
۰	۱	۰	۰	۱
۰	۰	۰	۰	۱
۱	۱	۱	۱	۰
۱	۰	۱	۱	۰
۱	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۰	۱	۰
۰	۱	۱	۰	۰
۰	۰	۱	۰	۰
۰	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰
یادآوری ۱= کار، ۰=خراب				

از جدول ۳، معادله زیر را می‌توان به دست آورد.

$$R_S = R_A.R_B.R_C.R_D + R_A.R_B.R_C.(۱ - R_D) + R_A.R_B.(۱ - R_C).R_D$$
$$+ R_A.(۱ - R_B).R_C.R_D + R_A.(۱ - R_B).R_C.(۱ - R_D) + (۱ - R_A).R_B.R_C.R_D$$
$$+ (۱ - R_A).R_B.R_C.(۱ - R_D) + (۱ - R_A).R_B.(۱ - R_C).R_D$$

این معادله را می‌توان به معادله زیر ساده کرد:

$$R_S = R_A.R_C + R_B.R_D + R_B.R_C - R_A.R_B.R_C - R_D.R_B.R_C$$

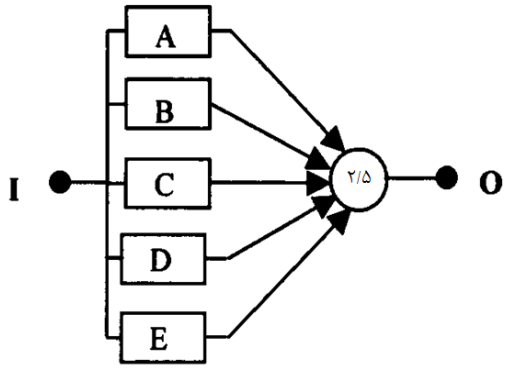
در عین حال روش دیگری برای کار با بلوک های مشترک وجود دارد که در ادامه بیان می‌شود. ابتدا این حقیقت که برخی از بلوک ها برای بیش از یک‌بار ظاهر می‌شوند را نادیده گرفته و معادله قابلیت اطمینان سیستم R_S را به صورت عادی بنویسید.

حال اگر این پرانتزها با هم ضرب شوند (که در کل ۲۷ جمله حاصل می‌کنند) و جمله‌هایی مثل $R_A.R_B.R_C^۲$ و $R_D.R_B.R_C^۲$ به ترتیب با معادل‌های بولی خود یعنی $R_A.R_B.R_C$ و $R_D.R_B.R_C$ جایگزین می‌شوند و به این ترتیب معادله قابلیت اطمینان (R_S) به معادله زیر کاهش می یابد:

$$R_S = R_A.R_C + R_B.R_D + R_B.R_C - R_A.R_B.R_C - R_D.R_B.R_C$$

۸-۳ مدل‌های m از n (اقلام غیر همسان)

روش اجرایی توصیف شده در زیربند ۷-۲-۳ در این حالت کاربرد ندارد. به عنوان مثال، سیستمی را در نظر بگیرید که با نمودار بلوکی قابلیت اطمینان در شکل ۱۶ نشان داده می‌شود.



شکل ۱۶- سیستم غیر همسان ۲ از ۵

قابلیت اطمینان این چنین سیستمی را می‌توان با یکی از فنون توصیف شده در زیربندهای ۸-۱-۲ یا ۸-۱-۳ ارزیابی کرد. از میان این فنون، فن توصیف شده در زیربند ۸-۱-۳ به ۳۲ ورودی نیاز دارد که از آن می‌توان احتمال وقوع خرابی سیستم F_S را به صورت زیر به دست آورد:

$$F_S = (۱-R_A).(۱-R_B).(۱-R_C).(۱-R_D).(۱-R_E) + (۱-R_A).(۱-R_B).(۱-R_C).(۱-R_D).R_E +$$
$$(۱-R_A).(۱-R_B).(۱-R_C).R_D.(۱-R_E) + (۱-R_A).(۱-R_B).R_C.(۱-R_D).(۱-R_E) +$$
$$(۱-R_A).R_B.(۱-R_C).(۱-R_D).(۱-R_E) + R_A.(۱-R_B).(۱-R_C).(۱-R_D).(۱-R_E)$$

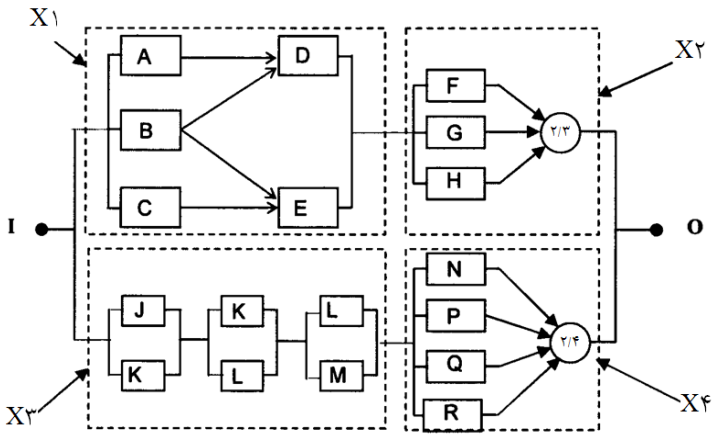
بنابر این می‌توان مقدار $R_S = ۱-F_S$ را به دست آورد.

یادآوری در پیوست ب، فن کاراتری توصیف شده است.

۸-۴ روش کاهش

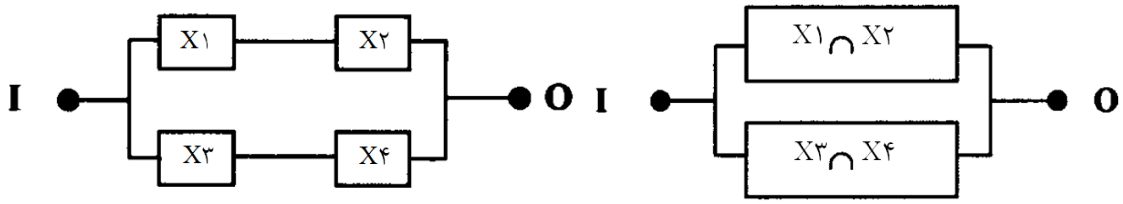
گاهی اوقات، نمودارهای بلوکی قابلیت اطمینان بسیار پیچیده به نظر می رسند. به هر حال با امتحان دقیق، اغلب می‌توان بلوک‌ها را در نمودار با هم گروه بندی کرد به گونه ای که گروه ها به صورت آماری مستقل از هم باشند. این امر به معنای آنست که هیچ دو (یا چند) گروهی نمی تواند دارای یک بلوک علامتگذاری شده با نماد یکسان باشد.

برای مثال، نمودار بلوکی قابلیت اطمینان نشان داده شده در شکل ۱۷را در نظر بگیرید.



شکل ۱۷-نمایش گروه بندی بلوک ها قبل از کاهش

شکل ۱۷ را می‌توان با ارزیابی قابلیت اطمینان ۴ گروه خط چین شده از بلوک‌های $X_۱$، $X_۲$، $X_۳$ و $X_۴$ به نمودار نشان داده شده در شکل ۱۸ الف کاهش داد. این بلوک ها به ترتیب در بندهای ۸-۱، ۷-۲-۳، ۸-۲ و ۷-۲-۳ نیز نشان داده شده اند. نمودار شکل ۱۸ الف را می‌توان به یک بلوک در شکل ۱۸ ب کاهش داد.



شکل ۱۸ ب **شکل ۱۸ الف**

شکل ۱۸- نمودارهای کاهش یافته بلوکی قابلیت اطمینان

بنابر این قابلیت اطمینان سیستم نهایی به صورتی که در زیربند ۷-۲-۲ توضیح داده شده (ارجاع به شکل ۱۸ ب) با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$R_S = R_{X۱}.R_{X۲} + R_{X۳}.R_{X۴} - R_{X۱}.R_{X۲}.R_{X۳}.R_{X۴}$$

۹ بسط روش‌های نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به محاسبات آمادگی

تحت شرایط خاص می‌توان از تمامی فرمولها و روش‌های اجرایی این استاندارد برای انجام پیش بینی های آمادگی حالت پایدار سیستم استفاده کرد. این کار با جایگزینی ساده عبارات قابلیت اطمینان با عبارات متناظر آمادگی انجام می‌شود.

بسط روش ها تنها زمانی معتبر است که وقوع خرابی ها و تعمیرهای اقلام منفرد مستقل از دیگری باشد. این امر در عمل به آن معناست که وقوع خرابی هر قلم نباید به هیچ طریقی بر شروع وقوع خرابی هیچ قلم دیگری تاثیر گذاشته و بایستی در عمل "انباری نامتناهی" از منابع تعمیری آماده باشد.

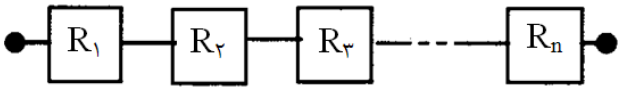
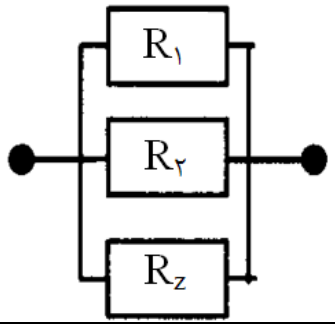
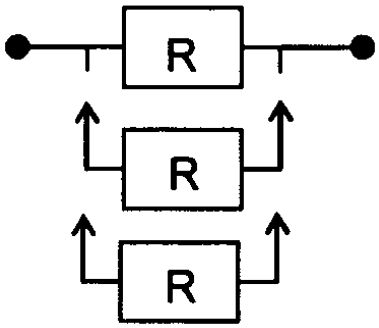
به عبارت دیگر، زمان ناآماد میانگین هر قلم بایستی به تنهایی مقیاسی از آن قلم باشد و نبایستی به اینکه چه مقدار قلم دیگر خراب شده و نیازمند تعمیر هستند، بستگی داشته باشد. اگر روش مونتاژ قلم ها به صورتی باشد که هر قلم به آسانی قابل دسترسی بوده و با هیچ‌کدام از اقلام دیگر مسدود نشده باشد، اعتبار روش‌ها ظاهراً بیش از پیش تقویت خواهد شد.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

جمع بندی فرمول‌ها

در جداول این پیوست، از واژه های "فعال" و "حاضر در کنار" به فراوانی استفاده شده است. واژه فعال برای مشخص کردن این امر به کار می‌رود که بلوک‌های مورد نظر (که هر کدام از آنها ممکن است از یک جز، زیر سیستم، سیستم و غیره تشکیل شوند) انرژی دریافت کرده (روشن شده) و بنابر این وقوع خرابی آنها محتمل است. از طرف دیگر، واژه حاضر در کنار برای مشخص کردن این مطلب استفاده می‌شود که بلوک یا بلوک های مورد نظر انرژی را از دست داده (خاموش شده) و محکوم به خرابی نیستند.

معادله قابلیت اطمینان سیستم R_S	پیکره بندی مبنایی
الف- حالت کلی $R_S = R_1.R_2...R_n$	 ۱.سری
ب- با $R_1 = R_2 = ... = R_n = R$ $R_s = R^n$	
ج-حالت کلی فعال $R_S = 1 - (1 - R_1).(1 - R_2)...(1 - R_Z)$	۲. موازی فعال 
چ-فعال با $R_1 = R_2 = ... = R_Z$ $R_s = 1 - (1 - R_Z)^Z$	حاضر در کنار
ح-حاضر در کنار با $R = e^{-\lambda.t}$ $R_S = e^{-\lambda.t} + \lambda.t.e^{-\lambda.t} + ... + \frac{(\lambda.t)^{z-1}e^{-\lambda.t}}{(z-1)!}$	

الف- حالت کلی فعال

$$R_S = ۱ - \prod_{j=a}^{z} (۱ - R_{j۱}.R_{j۲}...R_{jn})$$

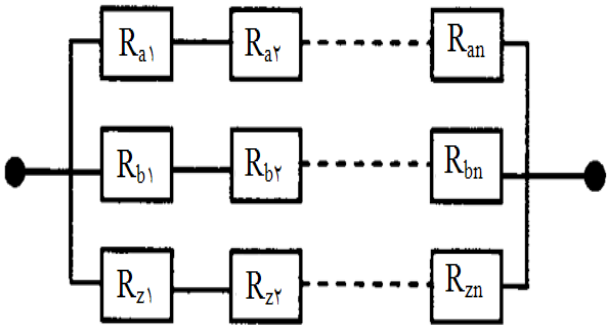
ب-فعال با

$$R_{a۱} = R_{a۲} = ... = R_a$$
$$R_{b۱} = R_{b۲} = ... = R_b$$
$$R_{z۱} = R_{z۲} = ... = R_z$$
$$R_S = ۱ - \prod_{j=a}^{z} (۱ - R_j^n)$$

ج-فعال با

$R_{aj} = R_{bj} = ... = R_{zj} = R$ برای j=۱ تا n

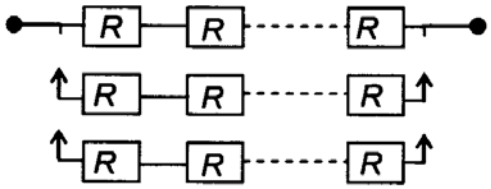
۳- سری های موازی یا ردوندانت سیستم فعال



د- حاضر در کنار با $R = e^{-\lambda t}$

$$R_S = e^{-n\lambda t} + n\lambda t.e^{-n\lambda t} + ... + \frac{(n\lambda.t)^{x-۱} e^{-n\lambda.t}}{(x-۱)!}$$

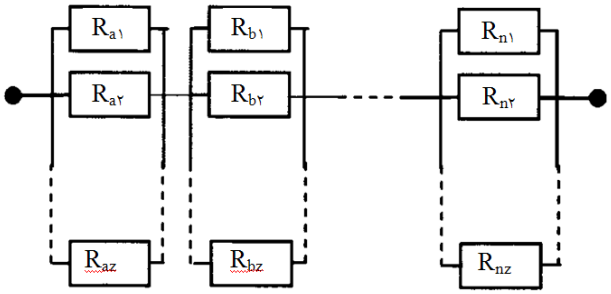
حاضر در کنار



الف- حالت کلی فعال

$$R_s = \{۱ - (۱ - R_{a۱}).(۱ - R_{a۲})...(۱ - R_{az})\} \times$$
$$\{۱ - (۱ - R_{b۱}).(۱ - R_{b۲})...(۱ - R_{bz})\} \times$$
$$...\{۱ - (۱ - R_{n۱}).(۱ - R_{n۲})...(۱ - R_{nz})\}$$

۴- سری های موازی یا ردوندانت عنصری فعال



ب- فعال با

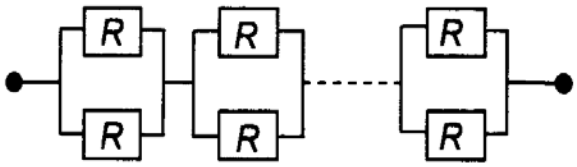
$$R_{a1} = R_{a2} = ... = R_a$$
$$R_{b1} = R_{b2} = ... = R_b$$
$$R_{n1} = R_{n2} = ... = R_n$$
$$R_S = \left(1 - \left(1 - R_a\right)^z\right)\left(1 - \left(1 - R_b\right)^z\right) \times ... \left(1 - \left(1 - R_n\right)^z\right)$$

ج-فعال با تمامی بلوک‌هایی که دارای یک قابلیت اطمینان "R" هستند.

$$R_{aj} = R_{bj} = ... = R_{nj} = R$$

با فرض $R = e^{-\lambda.t}$

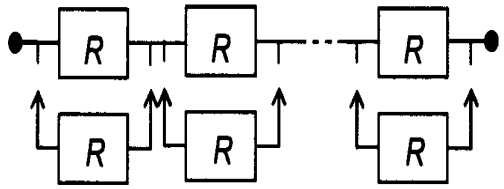
$$R_S = \left(2.e^{-\lambda.t} - e^{-2.\lambda.t}\right)^n$$



حاضر در کنار

د- حاضر در کنار با $R = e^{-\lambda.t}$

$$R_S = \left(e^{-\lambda.t} + \lambda.t.e^{-\lambda.t}\right)^n$$



۵-سری های موازی یا ردوندانت عنصری

الف- فعال با فرض اینکه همه

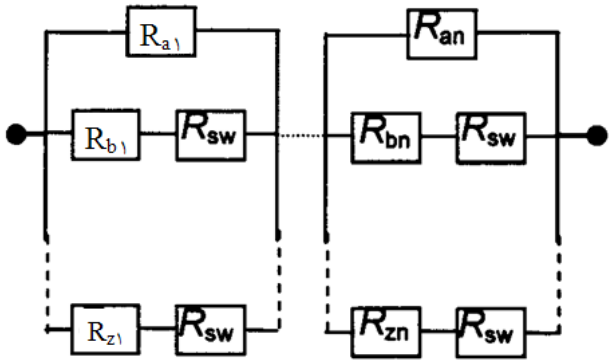
$R_{aj} = R_{bj} = ... = R_{zj} = R$ به استثنای R_{SW}

$$R_S = \left\{1 - \left(1 - R\right).\left(1 - R.R_{SW}\right)^{z-1}\right\}^n$$

ب- فعال با فرض اینکه ۲=z، ۱=n و همگی

$R_{aj} = R_{bj} = ... = R_{zj} = R = e^{-\lambda t}$ به استثنای R_{SW}

$$R_S = e^{-\lambda t} + R_{SW}e^{-\lambda t} - R_{SW}e^{-2\lambda t}$$



یادآوری ۱ فرمول برای سیستم های حاضر در کنار بر مبنای این فرض است که قابلیت اطمینان مکانیسم‌های کلید زنی و حسگری، ۱۰۰٪ می باشد (R_{SW}=۱)

یادآوری ۲ برای نرخ های ثابت وقوع خرابی، R(t) را می‌توان با $e^{-\lambda t}$ جایگزین کرد.

پیوست ب
(اطلاعاتی)
روش‌های ناهمپوشان بولی

ب-۱ ملاحظات مقدماتی

در تحلیل RBDها به صورتی که تاکنون توصیف شده، فارغ از استفاده از جداول درستی بولی داده شده در زیربند ۸-۱-۳، عمدتاً از فرمول ریاضیاتی جبری متداول استفاده می‌شود. به هر حال، جبر بولی در حالت کلی می تواند از چنین تحلیل هایی نیز استفاده کند و در بسیاری از موارد، بسیار اثربخش تر و سرراست تر است. به ویژه، استفاده از جبر بولی می‌تواند در هر زمانی که موارد زیر صادق باشد، سرراست‌ترین روش باشد:

الف) RBD ها دارای بلوک های مشترکی باشند (به شکل ۱۵ رجوع شود).

ب) RBD ها دارای پیکانهای جهتی باشند (به اشکال ۸ و ۱۴ رجوع شود)؛

پ) سیستم، مخصوصاً پیچیده باشد؛

ت) ایجاد عبارت بولی برای موفقیت (یا وقوع خرابی) سیستم آسانتر از ایجاد RBD باشد.

توجه به مورد (ت) در فهرست فوق از اهمیت بالایی برخوردار است. برای بسیاری از سیستم ها و شبکه ها، فهرست کردن ترکیبات موفقیت (یا وقوع خرابی) تجهیزات در عبارتهای بولی، اغلب کار سرراست تری از ایجاد RBD متناظر است. با به کار بستن روش بولی در ابتدا جهت تحلیل سیستم، ریسک ایجاد خطا در رشته ایجاد RBD کاملاً برطرف می‌شود.

ب-۲ علامت‌گذاری

تاکنون نمادهای $\cup$ و $\cap$ به ترتیب برای نشان دادن "OR" و"AND" منطقی مورد استفاده قرار گرفته اند. به هر حال، در آنچه که در ادامه می آید، مناسبتر دیده شده که از نماد "+"برای نشان دادن"OR" منطقی استفاده شده و برای "AND" منطقی از نقطه استفاده شود[۱]. خط بالای متغیر بولی نشاندهنده عکس یا مکمل متغیر مورد نظر است، برای مثال $\bar{a}$ به صورت "not a" تفسیر می‌شود. برای مثال، $a.b.\bar{c}.e + f.g$ به صورت "a AND b AND NOT c AND e OR f AND g" تفسیر می‌شود. متنی که نمادها در آن استفاده می‌شوند، بایستی معنا را روشن کند.

۱-مزیت این قبیل علامتگذاری در پیوست ب مشخص می‌شود که در آن بیان‌هایی از نوع $SS_1 = a.b + \bar{a}.e.b + \bar{a}.e.d + a.\bar{b}.e.d + \bar{a}.c.d + a.\bar{b}.c.d$ به فراوانی یافت می‌شوند. با توجه به این بیان اخیر به عنوان مثال و نوشتن آن با استفاده از نمادهای نظریه مجموعه ها، عبارت زیر به دست می آید:

$SS_1 = a \cap b \cup \bar{a} \cap e \cap b \cup \bar{a} \cap d \cup a \cap \bar{b} \cap e \cap d \cup \bar{a} \cap c \cap d \cup a \cap \bar{b} \cap c \cap d$ که برای بسیاری از خوانندگان، تفسیر یا ارزیابی آن ممکن است بسیار مشکل باشد.

ب-۳ متغیرهای بولی و متغیرهای احتمالاتی

دو سیستم ردوندانت فعال واحد، به صورتی که در شکل ۹ نشان داده شده را در نظر بگیرید. از این سیستم می‌توان دید که سیستم به صورت یک کل بقا خواهد یافت مشروط به آنکه A یا B (یا هر دو) بقا یابند. به عبارت دیگر، عبارت بولی برای موفقیت سیستم با معادله زیر بیان می شود:

$$SS = a + b \qquad (۱۵)$$

که در آن، a و b متغیرهای بولی به ترتیب متناظر با بقای بلوک های A و B می باشند. شاید وسوسه‌انگیز باشد که R_a و R_b را به ترتیب با a و b جایگزین کرد و معادله (۱۵) را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$R_S = R_a + R_b \qquad (۱۶)$$

متاسفانه معادله (۱۶) به خاطر این حقیقت که از معادله بولی‌ای به دست آمده که در آن متغیرها همپوشانی دارند، نادرست است. اگر به جای آن، معادله (۱۵) به صورت زیر نوشته شود:

$$SS = a + \bar{a} \bullet b \qquad (۱۷)$$

سپس با نوشتن R_a برای a، $۱-R_a$ برای $\bar{a}$ و R_bبرای b، عبارت درستی به صورت زیر برای احتمال بقای سیستم R_S به دست می آید:

$$R_S = R_a + (۱-R_a).R_b \qquad (۱۸)$$

که نتیجه ای کاملاً شناخته شده است.

فرآیند بازنویسی معادله (۱۵) به فرم معادله (۱۷) به عنوان فرآیندی ناهمپوشان نسبت داده می‌شود. به یاد داشته باشید که امکان بازنویسی معادله (۱۵) به صورتهای ناهمپوشان دیگر نیز وجود دارد که یکی از آنها $SS = b + \bar{b} \bullet a$ است، بنابر این با نوشتن R_b برای b و $(۱-R_a)$ برای $\bar{b}$ عبارت درست دیگری برای احتمال بقای سیستم (R_S) به صورت زیر به دست می آید.

$$R_S = R_b + (۱-R_b).R_a \qquad (۱۸)$$

نیازی به گفتن نیست که معادلات (۱۸) و (۱۹) معادل هستند.

از معادلات فوق می‌توان دید که در جایگزینی احتمالات بقا در متغیرهای بولی یا "احتمالات بقا-۱" در متغیرهای بولی مکمل، عبارت بولی ناهمپوشان برای موفقیت سیستمی که بیانی احتمالاتی برای احتمال بقای سیستم (قابلیت اطمینان) است، به دست می آید. بنابر این هدف اولیه، امکان طرح ریزی عبارت های بولی برای موفقیت سیستم به شکل ناهمپوشان است. این به معنای آنست که هر جمله در عبارت بولی نهایی برای موفقیت سیستم، در رابطه با هر عبارت دیگر، ناهمپوشان است. جزئیات بیشتر روش را می‌توان در [۱] [۱] یافت.

۴-ب روشی برای ناهمپوشان سازی عبارتهای بولی

۴-۱-ب زمینه

بایستی خاطر نشان کرد که دو جمله در صورتی متقابلاً ناهمپوشان هستند که حداقل یک متغیر در یک جمله به شکل مکمل خود در جمله دیگری وجود داشته باشد. برای مثال، جملات $p \bullet q \bullet r \bullet s$ و

۱-ارقام بیان شده در قلاب به کتابنامه ارجاع دارند.

$\bar{s} \bullet t \bullet u \bullet v$ (که هر کدام دارای ۴ متغیر بولی هستند) به علت وجود S ناهمپوشان می باشند. عکس این مطلب نیز درست است. برای مثال، دو جمله، ناهمپوشان نیستند (یعنی آنها همپوشان هستند)، اگر هیچکدام از متغیر ها در یک جمله به صورت مکمل در جمله دیگری ظاهر نشده باشند. برای مثال، دو جمله $p \bullet q \bullet r \bullet s$ و $s \bullet t \bullet u \bullet v$ متقابلاً ناهمپوشان نیستند.

ب-۴-۲ اصل ناهمپوشان سازی

اگر دو جمله T_1 و T_2 ناهمپوشان نباشند و نیاز باشد که T_2 نسبت به T_1 ناهمپوشان ساخته شود، گام اول جدا کردن تمامی متغیرهایی در T_1 است که در T_2 ظاهر نمی شوند. (این قبیل جمله ها در مجموع به عنوان مکمل نسبی T_2 نسبت به T_1 معروف هستند) فرض کنید $v_1 \bullet v_2 \bullet v_3 \bullet v_4$ مکمل نسبی باشد. بنابر این با جایگزین کردن T_2 با عبارت زیر:

$$T_2^* = \bar{v}_1 \bullet T_2 + v_1 \bullet \bar{v}_2 \bullet T_2 + v_1 \bullet v_2 \bullet \bar{v}_3 \bullet T_2 + v_1 \bullet v_2 \bullet v_3 \bullet \bar{v}_4 \bullet T_2$$

عبارت $T_1 + T_2^*$ (به عبارت دیگر $T_1 + \bar{v}_1.T_2 + v_1.v_2.\bar{v}_3.T_2 + v_1.v_2.v_3.\bar{v}_4.T_2$) از جملاتی تشکیل می‌شوند که تمامی آنها نسبت به دیگری ناهمپوشان خواهند بود.

در ادامه، مثالی برای ناهمپوشان ساختن جمله $T_2 = d.e.f$ نسبت به جمله $T_1 = a.b.c.d.e$ بیان می‌شود:

مکمل نسبی T_2 نسبت به T_1 برابر با $a.b.c$ است، بنابر این اگر $T_2(= d.e.f)$ با جمله زیر جایگزین شود:

$$T_2^*(= \bar{a} \bullet d \bullet e \bullet f + a \bullet \bar{b} \bullet d \bullet e \bullet f + a \bullet b \bullet \bar{c} \bullet d \bullet e \bullet f)$$

آنگاه T_1 و T_2^* (یعنی تمامی جملات $a \bullet b \bullet c \bullet d \bullet e, \bar{a} \bullet d \bullet e \bullet f, a \bullet \bar{b} \bullet d \bullet e \bullet f, a \bullet b \bullet \bar{c} \bullet d \bullet e \bullet f$) نسبت به همدیگر ناهمپوشان خواهند بود.

یادآوری- اگرچه نوشتن رابطه فوق برای T_2^* به صورت زیر نادرست نیست:

$$T_2^* = d \bullet e \bullet f\ (\bar{a} + a \bullet \bar{b} + a \bullet b \bullet \bar{c})$$

اما این شکل برای انجام روش‌های اجرایی توصیف شده در زیر بند ب.۳.۴ زیر کاملاً نامناسب است.

ب-۴-۳ روش اجرایی ناهمپوشان سازی

روش اجرایی به صورت زیر است:

الف) موفقیت سیستم (که به صورت SS_1 بیان می‌شود) را به صورت مجموع حاصلضرب جملات بولی[1] بیان کرده و جملات از چپ به راست به صورت "T_{11}، T_{12}، T_{13}، ..." بر چسب گذاری کنید.

ب) T_{11} را به عنوان جمله "محوری" انتخاب کنید و T_{12} را با T_{11} مقایسه کنید.

پ) در صورت لزوم، (یعنی اگر دو جمله ناهمپوشان نباشند) T_{12} را نسبت به T_{11} و به صورتی که در زیربند ب-۴-۲ بیان شده است ناهمپوشان سازی کنید.

ت) در صورت لزوم، T_{13}را نسبت به T_{11} ناهمپوشان سازی کنید.

ث) فرآیند را برای جملات باقیمانده در T_{11} ادامه دهید.

۱-برای عبارتهای بولی که به صورت خاصی برای موفقیت سیستم ساده هستند، می‌توان از جملات منفرد و نیز حاصلضرب دو یا چند جمله استفاده کرد.

ج) عبارتی که تا این مرحله تا حدی بسط یافته را امتحان کرده (با احتساب عبارات بیشتر اضافه شده) و (در حد امکان) با استفاده از قوانین جبر بولی ساده سازی کنید. (استفاده از قواعدی از قبیل $x+y=x$، $x+xy=x$ ، $xy+\bar{x}y=y$). عبارت حاصله را با عنوان SS_2 بنامید و جملات را از چپ به راست،" T_{21}، T_{22}، T_{23}، ..." برچسب گذاری کنید.

چ) جمله دوم (T_{22}) از SS_2 را به صورت جمله "محوری" انتخاب کنید و T_{23} را با T_{22} مقایسه کرده و کار را به صورتی که در ج) تا و) ولی با استفاده از جمله SS_2 ادامه دهید و عبارت حاصله را با عنوان SS_3 بنامید.

ح) کار را به صورت فوق ادامه دهید تا زمانی که تمامی جملات به صورت جملات محوری استفاده شوند و در این زمان عبارت نهایی حاصله، نسخه کاملاً ناهمپوشان سازی شده ای از عبارت اصلی SS_1 خواهد بود. اگر به اینصورت که عبارت بولی برای موفقیت سیستم جایگزین شده، هر متغیر بولی با احتمال نقطه مقابل خود (قابلیت اطمینان) جایگزین شود، عبارتی احتمالاتی برای قابلیت اطمینان سیستم به دست خواهد آمد. علاوه بر این، اگر مقادیر عددی برای عبارات بولی که اکنون ناهمپوشان سازی شده اند، جایگزین شوند، مقدار عددی برای قابلیت اطمینان کلی سیستم به دست خواهد آمد.

مثالی از کاربرد روش اجرایی ناهمپوشان سازی فوق در زیربند ب-۶ بیان شده است.

ب-۵ تفاسیر

مهمترین ویژگی روش اجرایی آنست که توالی گام های مورد نیاز برای اجرای ناهمپوشان سازی جهت برنامه‌نویسی برای اجرا در کامپیوتر نسبتاً سرراست می باشد. با استفاده از PC های مدرن می‌توان فوراً مجموع حاصلضرب کاملاً پیچیده عبارات بولی را ناهمپوشان سازی کرد. به هر حال خط مشی IEC، ارائه این قبیل بـــــرنامه ها نیست و بیشتر بر آن است که جزئیات ارائه شده در این استاندارد برای نوشتن برنامه‌ای مناسب، کافی باشد.

ویژگی مهم دیگر آن است که روش اجرایی که هدف اصلی آن ناهمپوشان سازی عبارات بولی است را می‌توان با درجه تاثیر معادلی به عبارات بولی ناشی از تحلیل های درخت خرابی اعمال کرد.

ویژگی مهم دیگر آن از این حقیقت ناشی می‌شود که احتمالات در حالت نهایی در عبارات ناهمپوشان، جایگزین می‌شوند. این به معنای آن است که به جای جایگزین سازی قابلیت اطمینان ها، می‌توان آمادگی‌ها را جایگزین کرد. در اینصورت، باید به خاطر سپرده شود که درست مثل قابلیت اطمینان، هر رویداد باید مستقل از رویداد دیگر باشد. این امر دلالت بر آن دارد که اساساً تعمیر هر قلم علاوه بر وقوع خرابی، بر تعمیر یا وقوع خرابی قلم دیگر تاثیری ندارد.

ب-۶ مثالی از کاربرد روش اجرایی ناهمپوشان سازی

فرض کنید که یک شبکه یا سیستم از ۵ عنصر A، B، C، D و E تشکیل شده و a، b، c، d و e نشاندهنده متغیرهای بولی متناظر "موفقیت" می باشند. همچنین فرض کنید که موفقیت سیستم در جملات بولی (SS)، با عبارت زیر تعریف می‌شود که از مجموع ۴ جمله حاصلضربی تشکیل می‌شود:

$$SS = a \bullet b + e \bullet b + e \bullet d + c \bullet d$$

روش اجرایی ناهمپوشان سازی عبارت فوق به صورت زیر است:

گام ۱-۱: **هر جمله را نسبت به جمله اول ناهمپوشان سازی کنید.** از روش سیستماتیک استفاده کرده و جمله دوم را نسبت به جمله اول ناهمپوشان کنید. دو جمله را بررسی کنید و ببینید که آیا هیچ متغیری در جمله اول به صورت مکمل در جمله دوم آمده است. اگر این امر برقرار باشد، دو جمله ناهمپوشان بوده و کار بیشتری لازم نیست. در غیر اینصورت، تمامی متغیرهایی در جمله اول ($a.b$) که در جمله دوم ($e.b$) دیده نمی شوند را جدا کنید. (که در واژه شناسی نظریه مجموعه ها، مکمل نسبی جمله دوم نسبت به جمله اول نامیده می‌شود). در این مثال خاص، نتیجه، متغیر a است.

گام ۱-۲: **جمله دوم $e \bullet b$ با $\bar{a} \bullet e \bullet b$ [1] را جانشین کنید.**

گام ۱-۳: **جمله سوم را نسبت به جمله اول ناهمپوشان سازی کنید.** قبل از هر چیز، دو جمله را بررسی کنید که آیا هیچ متغیری در جمله اول به شکل مکمل در جمله دوم ظاهر می‌شود. از آنجا که چنین چیزی برقرار نیست، مکمل نسبی جمله سوم را نسبت به جمله اول یعنی متغیرهای a و b تعیین کنید. آنگاه جمله سوم را با جملات $\bar{a} \bullet e \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet e \bullet d$ جایگزین کنید.

گام ۱-۴: **جمله چهارم ($c.d$) را نسبت به جمله اول ناهمپوشان سازی کنید.** در این حالت نیز مکمل نسبی جمله چهارم نسبت به جمله اول، متغیرهای a و b است. بنابر این جمله چهارم با جملات $\bar{a} \bullet c \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet c \bullet d$ جایگزین می‌شود. از این رو در این مرحله، عبارت موفقیت سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$SS_1 = a \bullet b + \bar{a} \bullet e \bullet b + \bar{a} \bullet e \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet e \bullet d + \bar{a} \bullet c \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet c \bullet d$$

اکنون فرآیند را از جمله دوم تکرار کنید. بنابر این:

گام ۲-۱: **جمله سوم SS_1 ($\bar{a} \bullet e \bullet b$) را نسبت به جمله دوم ($\bar{a} \bullet e \bullet d$)ناهمپوشان سازی کنید.** مکمل نسبی برابر با b بوده و در نتیجه $\bar{a} \bullet e \bullet d$ با $\bar{b} \bullet \bar{a} \bullet e \bullet d$ جایگزین می‌شود.

گام ۲-۲: **جمله چهارم SS_1 ($\bar{a} \bullet b \bullet e \bullet d$) را نسبت به جمله دوم ($\bar{a} \bullet e \bullet b$)ناهمپوشان سازی کنید.** در این حالت، توجه داشته باشید که هم اکنون جملات (با احتساب متغیرهای a و b) ناهمپوشان بوده و نیازی به کار بیشتر نیست.

گام ۲-۳: **جمله پنجم SS_1 ($\bar{a} \bullet c \bullet d$) را نسبت به جمله دوم ($\bar{a} \bullet e \bullet b$)ناهمپوشان سازی کنید.** متغیرهای b و e مکمل نسبی بوده و در نتیجه جمله پنجم با $\bar{e} \bullet \bar{a} \bullet c \bullet d + e \bullet \bar{b} \bullet \bar{a} \bullet c \bullet d$ جایگزین می‌شود.

گام ۲-۴: **جمله ششم SS_1 ($a.\bar{b}.c.d$) را نسبت به جمله دوم ($\bar{a}.e.b$) ناهمپوشان سازی کنید.** در این حالت، توجه داشته باشید که هم اکنون جملات (با احتساب متغیر b) ناهمپوشان بوده و نیازی به کار بیشتر نیست. در این مرحله، عبارت موفقیت سیستم به صورت زیر در می آید:

$$SS_2 = a \bullet b + \bar{a} \bullet e \bullet b + \bar{b} \bullet \bar{a} \bullet e \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet e \bullet d + \bar{e} \bullet \bar{a} \bullet c \bullet d + e \bullet \bar{b} \bullet \bar{a} \bullet c \bullet d + a \bullet \bar{b} \bullet c \bullet d$$

در این حالت، توجه داشته باشید که جمله سوم، جمله ششم را "جذب" می‌کند و جملات سوم و چهارم ترکیب می‌شوند و جمله $\bar{b} \bullet e \bullet d$ را حاصل می‌کنند. به عبارت دیگر:

۱- اکنون جملات اول و دوم به علت وجود متغییر a که در هر دو جمله به شکل مکمل و نامکمل ظاهر می شود، ناپیوسته خواهد بود.

$$\bar{b}\bullet\bar{a}\bullet e\bullet d+e\bullet\bar{b}\bullet\bar{a}\bullet c\bullet d=\bar{b}\bullet\bar{a}\bullet e\bullet d(۱+c)=\bar{b}\bullet\bar{a}\bullet e\bullet d$$

و

$$\bar{b}\bullet\bar{a}\bullet e\bullet d+e\bullet\bar{b}\bullet e\bullet d=\bar{b}\bullet e\bullet d(\bar{a}+a)=\bar{b}\bullet e\bullet d$$

بنابر این $SS_۲$ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$SS_۲=a\bullet b+\bar{a}\bullet e\bullet b+\bar{b}\bullet e\bullet d+\bar{e}\bullet\bar{a}\bullet c\bullet d+a\bullet\bar{b}\bullet c\bullet d$$

اکنون فرآیند را از جمله سوم تکرار کنید. بنابر این:

گام ۳-۱ **جمله چهارم** $SS_۲$ **($\bar{e}\bullet\bar{a}\bullet c\bullet d$) را نسبت به جمله سوم ($\bar{b}\bullet e\bullet d$) ناهمپوشان سازی کنید.** در این مورد یادآوری می‌شود که جملات اکنون (با احتساب متغیر e) ناهمپوشان بوده و نیازی به کار بیشتر نیست.

گام ۳-۲ **جمله پنجم** $SS_۲$ **($a\bullet\bar{b}\bullet c\bullet d$) را نسبت به جمله سوم ($\bar{b}\bullet e\bullet d$) ناهمپوشان سازی کنید.**مکمل نسبی متغیر e بوده و در نتیجه $a\bullet\bar{b}\bullet c\bullet d$ با $\bar{e}\bullet a\bullet\bar{b}\bullet c\bullet d$ جایگزین می‌شود.

در این مرحله عبارت موفقیت سیستم به صورت زیر بیان می شود:

$$SS_۳=a\bullet b+\bar{a}\bullet e\bullet b+\bar{b}\bullet e\bullet d+\bar{e}\bullet\bar{a}\bullet c\bullet d+e\bullet b\bullet\bar{a}\bullet c\bullet d$$

و از آنجا که ساده سازی بیشتر امکانپذیر به نظر نمی رسد، این عبارت ناهمپوشان سازی شده نهایی است.

با انجام جایگزین سازی های بیشتر، عبارت قابلیت اطمینان سیستم با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$R_S=R_a.R_b+(۱-R_a).R_e.R_b+(۱-R_b).R_e.R_d+(۱-R_e)(۱-R_a).R_c.R_d+(۱-R_e).R_a.(۱-R_b).R_c.R_d$$

یادآوری می‌شود که شکل نتیجه نهایی، در این حالت $SS_۳$، به ترتیبی که جملات در عبارت بولی نوشته می‌شوند، بستگی دارد. برای مثال، اگر $SS_۱$ به صورت زیر نوشته شود:

$$SS_۱^*=c\bullet d+e\bullet d+e\bullet b+a\bullet b$$

بنابر این عبارت ناهمپوشان سازی شده نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$SS_۳^*=c\bullet d+\bar{c}\bullet e\bullet d+b\bullet\bar{d}\bullet e+a\bullet b\bullet\bar{c}\bullet\bar{e}+a\bullet b\bullet c\bullet\bar{d}\bullet\bar{e}$$

اگرچه عبارات $SS_۳^*$ و $SS_۳$ کاملاً متفاوت به نظر می رسند اما در حقیقت، معادل هستند.

کتابنامه

IEC 61165, *Application of Markov techniques*[5]

IEC 60812, *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effect analysis (FMEA)*

[1] Bennetts, R.G. IEEE Trans. Rel, Vol. R-31, No.2, pp. 159-166, June 1982.

RBD methods (general)

[2] Barlow R.E., Proschan F., *Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probabilistic Models*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1975.

[3] Billinton R., Allan R.N., *Reliability Evaluation of Engineering Systems. Concepts and Techniques*. Second Edition, New York, Plenum Press, 1992.

[4] Birolini A., *Quality and Reliability of Technical Systems. Theory – Practice – Management*. Berlin, Springer Verlag, 1994.

[5] Gaede K.W., *Zuverlässigkeit, Mathematische Modelle*. München, Carl Hanser Verlag, 1977.

[6] Høyland A., Rausand M., *System Reliability Theory. Models and Statistical Methods*, New York, Wiley, 1994.

[7] Kaufmann A., Grouchko D., Cruon R., *Mathematical Models for the Study of the Reliability of Systems*, New York, Academic Press, 1977.

[8] Kuo W., Zuo M.J., *Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications*. New York, Wiley, 2003.

[9] Lewis E.E., *Introduction to Reliability Engineering*, Second Edition, 1996, New York, Wiley.

[10] MIL-HDBK-338B, *Electronic Reliability Design Handbook*, 1 October 1998.

[11] Pagés A., Gondran A., *System Reliability. Evaluation and Prediction in Engineering*. 1986, Berlin, Springer Verlag.

[12] Villemeur A., *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment. Volume 1. Methods and Techniques*, Chichester, Wiley, 1992.

Disjointing procedures (or sum of disjoint products methods)

[13] Abraham J.A., *An improved method for network reliability, IEEE Transactions on Reliability*, 1979, Vol.R-28, No.1, pp.58-61.

[14] Beichelt F., Zuverlässigkeit strukturierter Systeme, Berlin, VEB Verlag Technik, 1988.

[15] Beichelt F., Spross L., *An improved Abraham-method for generating disjoint sums. IEEE Transactions on Reliability,* 1987, Vol.R-36, No.1, pp.70-74.

[16] Heidtmann K.D., *Smaller sums of disjoint products by subproducts inversion. IEEE Transactions on Reliability*, 1989, Vol.38, No.3, pp.305-311.

[17] Locks M.O., *Recursive disjoint products. A review of three algorithms. IEEE Transactions on Reliability,* 1982, Vol.R-31, No.1, pp.33-35.

[18] Locks M.O., *Recent development in computing of system-reliability. IEEE Transactions on Reliability,* 1985, Vol.R-34, No.5, pp.425-435.

[19] Locks M.O., *A minimizing algorithm for sum of disjoint products. IEEE Transactions on Reliability*, 1987, Vol.R-36, No.4, pp.445-453.

[20] Luo Tong, *Trivedi K.S., An improved algorithm for coherent-system reliability. IEEE Transactions on Reliability*, 1998, Vol.47, No.1, pp.73-78.