دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق-الکترونیک

شبیه سازی زمان تا خرابی لیزرهای گسیل سطحی کاواک عمودی InGaAsP تک مد طول موج بلند

محمد علی نعیمی

استاد راهنما

دکتر علی پیروی

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به
چشمان نگران تو

چکیده

در این رساله ما به تحلیل زمان تا خرابی یک لیزر گسیل سطحی کاواک عمودی تک مد طول موج بلند InGaAsP ساختارهای متفاوت از لحاظ محدودیت الکتریکی می‌پردازیم. محدودیت الکتریکی بوسیله دو ساختار اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای معرفی می‌شوند که آنها را با ساختار متداول مقایسه می‌کنیم. ساختار جزیره‌ای در مقابل ساختار اکسیداسیون گزینشی و ساختار متداول، بهبودی به ترتیب ۷/٤۳ برابر و ۱۹/۳۸ برابر یافته است. در این رساله، ما نتایج کلیدی از مشخصات لیزرهای گسیل سطحی کاواک عمودی شامل، دمای پیوند به عنوان تابعی از توان نوری و زمان تا خرابی در مقابل دمای پیوند را بررسی کرده‌ایم و نتایج این را نشان می‌دهد که ساختار جزیره‌ای انتخاب بهتری نسبت به دو ساختار متداول و اکسیداسیون گزینشی می‌باشد. همچنین، یک ساختار با ترکیبی از ساختارهای اکسیداسیون و جزیره‌ای، پیشنهاد شده است که نرخ زمان تا خرابی بهتری دارد. نتایج نشان می‌دهد که ساختار پیشنهادی ما بهترین انتخاب برای منابع نوری در سیستم‌های مخابرات نوری با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد.

کلید واژه ها

زمان تا خرابی، InGaAsP، طول موج بلند، لیزرهای گسیل سطحی کاواک عمودی.

فهرست مطالب

فهرست اشکال

فصل اول: پیشگفتار ۱

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) قابلیت اطمینان ۱

۱-۲-۱) ارزیابی کمی و کیفی ۲

۱-۲-۲) کاربردهای ارزیابی‌های کمی ۳

۱-۲-۳) تعریف‌ها و مفاهیم قابلیت اطمینان ٤

۱-۲-٤) قابلیت اطمینان و دسترس پذیری ٥

۱-۲-٥) قابلیت اطمینان مطلق و نسبی ٦

۱-۲-٦) روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان ٦

۱-۲-۷) بهسازی قابلیت اطمینان ۷

۱-۲-۸) طراحی سیستم با نگرش دستیابی به قابلیت اطمینان ۸

۱-۲-۹) بررسی اقتصادی قابلیت اطمینان ۱۱

۱-۲-۱۰) مطالعه روند بهبود قابلیت اطمینان ۱٥

۱-۳) تاریخچه و معرفی VCSEL ۱٦

فصل دوم: بررسی فیزیک و ساختار VCSEL ۱۹

۲-۱) مقدمه ۱۹

۲-۲-۱) آینه‌هایDBR ۲۱

۲-۲-۲) ناحیه فعال ۲٥

۲-۲-۳) بررسی ساختار محصورکنندگی در VCSEL ۲٦

۲-۳) پدیده‌های فیزیکی موثر بر عملکرد VCSEL ۲۸

۲-۳-۱) تنظیم‌نشدگی بهره-کاواک ۲۹

۲-۳-۲) پدیده SHB ۲۹

۲-۳-۳) لنز حرارتی ۳۰
۲-۳-٤) خودکانونی ۳۱
۲-۳-۵) غیر یکنواختی جریان تزریقی در مرز لایه فعال ۳۱
فصل سوم: قابلیت اطمینان VCSEL ۳۲
۳-۱) مقدمه ۳۲
۳-۲) بررسی قابلیت اطمینان VCSEL ۳۲
۳-۳) تئوری و حل معادلات توسط SILVACO-ATLAS ۳٦
۳-۳-۱) معادلات پوآسون و پیوستگی ۳٦
۳-۳-۲) معادلات هلمهلتز ۳۹
۳-۳-۳) معادلات بهره نوری محلی ٤۱
۳-۳-٤) معادلات نرخ فوتون ٤۱
۳-۳-۵) معادلات توان نوری ٤۲
فصل چهارم: آنالیز و شبیه سازی ساختارهای متفاوت VCSEL ٤٤
٤-۱) مقدمه ٤٤
٤-۲) ساختار متداول ٤٤
٤-۳) ساختار اکسیداسیون گزینشی ٤۹
٤-٤) ساختار جزیره‌ای ۵۳
٤-۵)بررسی قابلیت اطمینان سه ساختار متداول، اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای ۵۵
٤-٦) ساختار پیشنهادی ٦۱
٤-۷) مقایسه ساختار پیشنهادی با دیگر ساختارها ٦٦
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ٦۹
۵-۱) نتیجه‌گیری ٦۹
۵-۲) پیشنهادها جهت ادامه کار ۷۱
مراجع

فهرست اشکال

شکل ۱-۱. نمودار مفهومی مراحل در طراحی سیستم ۹

شکل ۱-۲. هزینه نسبی در بهسازی قابلیت اطمینان ۱۲

شکل ۱-۳. قابلیت اطمینان و هزینه‌های کلی سیستم ۱۳

شکل ۲-۱. نمایش توزیع مدهای طولی و طیف بهره برای لیزرهای معمولی و VCSEL ۲۰

شکل ۲-۲. شماتیک ساده یک VCSEL ۲۱

شکل ۲-۳. طیف انعکاس DBR برای تعداد مختلف جفت لایه‌ها ۲۲

شکل ۲-٤. طیف انعکاس و باند توقف یک VCSEL ۲۳

شکل ۲-۵. منحنی‌های ضریب انعکاس برای ترکیبات مختلف و ضریب جذب آنها ۲٤

شکل ۲-٦. ساختار GaAs/AlGaAs و ترازهای انرژی چاه کوانتومی ۲۵

شکل ۲-۷. VCSEL با ساختار محصورشدگی اکسیداسیون ۲۷

شکل ۲-۸. شماتیک VCSEL با ساختار جزیره‌ای ۲۸

شکل ۲-۹. نمایش موقعیت طول موج رزونانس کاواک در طیف بهره در سه حالت مختلف ۲۹

شکل ۲-۱۰. پروفایل عرضی چگالی فوتون وحامل‌ها در پدیده SHB ۳۰

شکل ٤-۱. ساختار متداول، اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای ٤۵

شکل ٤-۲. نمودار دمای شبکه ساختار متداول ٤٦

شکل ٤-۳. برش عرضی ساختار متداول ٤۷

شکل ٤-٤. منحنی ولتاژ-جریان ساختار متداول ٤۸

شکل ٤-۵. منحنی توان-ولتاژ ساختار متداول ٤۸

شکل ٤-٦. منحنی دما-جریان ساختار متداول ٤۹

شکل ٤-۷. نمودار دمای شبکه ساختار اکسیداسیون گزینشی ۵۰

شکل ٤-۸. برش عرضی ساختار اکسیداسیون گزینشی ۵۰

شکل ٤-۹. منحنی ولتاژ-جریان ساختار اکسیداسیون گزینشی ۵۱

شکل ٤-۱۰. منحنی توان-ولتاژ ساختاراکسیداسیون گزینشی ۵۲

شکل ٤-١١. منحنی دما-جریان ساختار اکسیداسیون گزینشی ٥٢
شکل ٤-١٢. نمودار دمای شبکه ساختار جزیره‌ای ٥٣
شکل ٤-١٣. منحنی ولتاژ-جریان ساختار جزیره‌ای ٥٤
شکل ٤-١٤. منحنی توان-ولتاژ ساختار جزیره‌ای ٥٤
شکل ٤-١٥. منحنی دما-جریان ساختار جزیره‌ای ٥٥
شکل ٤-١٦. منحنی ولتاژ-جریان سه ساختار متداول، اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای ٥٦
شکل ٤-١٧. منحنی دما-جریان سه ساختار متداول، اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای ٥٦
شکل ٤-١٨. منحنی توان-ولتاژ سه ساختار متداول، اکسیداسیون گزینشی و جزیره‌ای ٥٧
شکل ٤-١٩. منحنی مشخصه ولتاژ-جریان سه ساختار ٥٨
شکل ٤-٢٠. منحنی دمای پیوند به عنوان تابعی از توان برای سه ساختار ٥٨
شکل ٤-٢١. منحنی لگاریتمی زمان تا خرابی ساختار متداول، تابعی از دمای پیوند ٥٩
شکل ٤-٢٢. منحنی لگاریتمی زمان تا خرابی ساختار اکسیداسیون، گزینشی تابعی از دمای پیوند ٦٠
شکل ٤-٢٣. منحنی لگاریتمی زمان تا خرابی ساختار جزیره‌ای، تابعی از دمای پیوند ٦٠
شکل ٤-٢٤. منحنی لگاریتمی زمان تا خرابی سه ساختار، تابعی از دمای پیوند در سه ولتاژ ثابت ٦١
شکل ٤-٢٥. شماتیک ساختار پیشنهادی ٦٢
شکل ٤-٢٦. نمودار دمای شبکه ساختار پیشنهادی ٦٢
شکل ٤-٢٧. برش عرضی ساختار پیشنهادی ٦٣
شکل ٤-٢٨. منحنی ولتاژ-جریان ساختار پیشنهادی ٦٣
شکل ٤-٢٩. منحنی دما-جریان ساختار پیشنهادی ٦٤
شکل ٤-٣٠. منحنی توان-ولتاژ ساختار پیشنهادی ٦٥
شکل ٤-٣١. منحنی زمان تا خرابی ساختار پیشنهادی ٦٥
شکل ٤-٣٢. مقایسه منحنی ولتاژ-جریان ساختار پیشنهادی و جزیره‌ای ٦٦
شکل ٤-٣٣. مقایسه منحنی توان-ولتاژ ساختار پیشنهادی و جزیره‌ای ٦٧
شکل ٤-٣٤. مقایسه منحنی دما-جریان ساختار پیشنهادی و جزیره‌ای ٦٧

شکل ٤-٣٥. مقایسه منحنی زمان تا خرابی ساختار پیشنهادی با دیگر ساختارها ٦٨

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱) مقدمه

دراین فصل جنبه‌های مقدماتی و مرتبط مهم، درارزیابی قابلیت اطمینان، ایمنی و احتمال خطر ارائه شده است. هدف از این فصل تدارک مفاهیم بنیادی در ارزیابی قابلیت اطمینان مورد توجه قرار داشته است. درخاتمه ملاحظه خواهد شد که مهمترین الزام در مطالعات قابلیت اطمینان، حصول درک کاملی از معیارهای تعیین موفقیت و از کار افتادن سیستم و بطورکلی مفاهیم کاربری و عملکرد آن از لحاظ مهندسی می‌باشد. بدون درک کامل از این مفاهیم و معیارها چنین تحلیلی به جز مجموعه ای از تمرینات ریاضی صرف نخواهد شد و چه بسا نتیجه ناصحیح و گمراه کننده‌ای به دست دهد. بنابراین مهندسی قابلیت اطمینان یک سنجش و هم یک نظام برای مهندسی است. همچنین در ادامه توضیحاتی مقدماتی از لیزرهای کاواک عمودی گسیل سطحی[۱] آمده است.

۱-۲) قابلیت اطمینان

در هر جامعه مدرن، مهندسان و مدیران فنی مسؤل برنامه ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصول تا پیچیده‌ترین سیستم ها هستند. از کارافتادن محصول ها و سیستم ها موجب وقوع اختلال در سطوح مختلفی می شود و می تواند حتی به عنوان تهدیدی شدید برای جامعه و محیط زیست نیز تلقی شود. از این رو مصرف کنندگان و به طور کلی مردم جامعه انتظار دارند که محصول ها و سیستم ها پایا، اطمینان بخش و ایمن باشد. بنابراین به عنوان یک پرسش اساسی چنین مطرح است که قابلیت اطمینان سیستم در طول عمرکاری آینده اش چه میزانی است وایمنی آن چقدر است؟ این پرسشی است که بخش هایی از آن را می توان با ارزیابی و کمیت سنجی قابلیت اطمینان پاسخ گفت. در این دوره از مباحث به ویژه شیوه‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان و موارد کاربرد آنها بحث قرار می‌گیرد[۱].

---

[۱] VCSEL: Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser

شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان ازنظر تاریخچه پیدایش، بدوا در ارتباط با صنایع هوا-فضا و کاربردهای نظامی شکل گرفت، ولی سریعا توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته ای که تحت فشار شدیدی جهت تضمین ایمنی و قابلیت راکتورهای هسته ای در تامین انرژی الکتریکی می‌باشند و یا صنایع فرایندهای پیوسته مانند صنایع فولاد و صنایع شیمیایی که هر ساعت از توقف آنها به علت وقوع معایب می‌تواند موجب تحمیل خسارت های بزرگ مالی و جانی و آلودگی محیط زیست شود مورد توجه و کاربرد قرارگرفت. اگرچه لازم به تذکر است که در تمام این زمینه ها شاهد وقوع مسائل و مشکلات شدیدی در سال های اخیر بوده‌ایم. ازجمله در صنایع هوا-فضا در سال ۱۹۸٦ حادثه‌ای که برای فضاپیمای چیلر پیش آمد و همچنین حادثه های دیگر مربوط به برخی هواپیماهای تجاری و مسافری، در صنایع هسته ای، حادثه های نیروگاه چرنوبیل درسال ۱۹۸٦ و جزیره سه مایلی درسال ۱۹۷۹.

درتامین انرژی الکتریکی، خاموشی نیویورک درسال۱۹۷۷، درصنایع شیمیایی، حادثه های فیکسبرو درسال۱۹۷٤، سووسو درسال۱۹۷٦، بوپال درسال۱۹۸٤ و بسیاری ازحوادث دیگر، که درتمام این رخدادها خسارت های چشمگیر و شدیدی و محیط زیست تحمیل شد[۱].

این رخدادها بویژه فشار فزاینده ای برای لزوم توجه به ارزیابی قابلیت اطمینان، ایمنی و احتمال خطر ایجاد کرده است. دراینجا اساسا دو بحث مطرح است یکی تحت عنوان خطر که علاوه برشدت خطر احتمال وقوع آن را نیز مورد توجه قرارمی‌دهد. شیوه های ارزیابی قابلیت اطمینان اصولا برمحور ارزیابی احتمال خطراستواراست و لذا هر دو جنبه شامل شدت خطر و همچنین احتمال وقوع آن در احتساب می آید. این شیوه ها کاربردهای وسیعی یافته است و درتمام زمینه های دیگر که اثرات اقتصادی-اجتماعی بر نقص عملکرد است مورد استفاده قرارمی گیرد که ازجمله صنایع لوازم خانگی، صنایع اتومبیل و نظایرآنها را می توان نام برد.

به آشکاری روشن است که عموم مهندسان باید از مفاهیم اساسی و بنیادی کاردبرد شیوه های ارزیابی قابلیت اطمینان آگاه باشند، زیرا که قوانین امروز تامین کنندگان مواد و لزوم طراحان و سازندگان محصول را مسؤول خسارت های وارد بر مصرف کنندگان به سبب بروز معایب محصول می شناسد.

۱-۲-۱) ارزیابی کمی و کیفی

ارزیابی قابلیت اطمینان البته بحث چندان جدیدی نیست زیرا مهندسین همواره به طراحی، ساخت و بهره برداری سیستم ها که نسبتا عاری از اشکالات و معایب باشد علاقمند بوده‌اند. سابق بر این قابلیت اطمینان برمبنای تحلیل های کیفی از سوابق و تجربیات در طراحی و بهره برداری حاصل می شد ولی این روش همیشه به عنوان قضاوت

مهندسی مورد تردید و غیرقابل اتکاء و نامناسب بوده است. قابلیت اطمینان، یک مشخصه ذاتی از هر محصول است و لذا یکی از پارامترهای طراحی محسوب می شود که همواره باید در طی فرایند طراحی به عنوان یکی از معیارهای مهم آن مورد توجه قرارگیرد. بنابراین برای حصول این امر نیاز به کمیت سنجی قابلیت اطمینان می باشد.

مفاهیم کیفی مانند این که " این سیستم دچار از کارافتادگی نخواهدشد " و یا "این سیستم بسیار قابل اطمینان است " و یا این که " محصولی قابل اطمینان تر از محصول مشابهی است " به هیچ وجه معنای تکنیکی قابل ارزیابی و شخصی را به دست نمی دهند.

اگرچه از سمت دیگر این هم یک اشتباه است که قضاوتهای مهندسی را صرفا با اعداد و ارقام مبین قابلیت اطمینان جایگزین نمود. زیرا نهایتا بر مبنای همین قضاوت ها مبادرت به عمل انجام می گیرد. علاوه بر این توجه شود که شاخص های عددی قابلیت اطمینان برای نشان دادن این است که:

- چگونه یک سیستم از کار می افتد.
- عواقب از کارافتادن سیستم چیست.
- ارتباط میان کیفیت و هزینه سرمایه گذاری و مسائل اقتصادی چگونه است.

در نتیجه می توان به طرح هایی که توجیه اقتصادی بهتری داشته و از حیث مشخصات تکنیکی و بهره برداری مناسب تر هستند دست یافت.

۱-۲-۲) کاربردهای ارزیابی های کمی

ارزیابی های کمی بویژه در ارتباط با دو منظور معین می تواند به کار برود:

- ارزیابی عملکردهای گذشته
- پیش بینی عملکردهای آینده

اولین مورد به کرات توسط بسیاری از کمپانی ها و مؤسساتی که پیش بینی عملکرد آینده در برنامه کارشان نیست هم صورت می گیرد ولی برای مورد دوم جهت پیش بینی عملکرد آینده نیاز به ارزیابی عملکردهای گذشته است و لذا ضرورتا اطلاعات آماری موردنیاز می باشد.

محاسن ارزیابی عملکردهای گذشته عبارتند از:

- شناخت نواحی ضعیفی که نیاز به تقویت و یا اصلاح دارد.
- شناخت روند علی رخدادها برای تعیین مشخصه پایائی.
- تعیین شاخص برای حالت موجود که مبنائی برای هدایت به مقادیر قابل قبول درآینده قرارگیرد.
- ایجاد زمینه مقایسه برای پیش بینی ها و آنچه که محقق می شود .
- فراهم شدن شرایط، برای تحلیل حساسیت پارامترهای طراحی.
- ...

پیش بینی مشخصات عملکرد یک سیستم محاسن ذیل را در بردارد:

- چگونگی عملکرد انتظاری مشخص می‌شود.
- منافع انتخاب طرح‌های مختلف تعیین می‌شود .
- تاثیر سیاست های نگهداری و کاربری معلوم می‌شود.

۱-۲-۳) تعریف‌ها و مفاهیم قابلیت اطمینان

نوع پیش‌بینی قابلیت اطمینان بستگی به شاخص‌های اطلاعاتی مورد نیاز دارد. روش‌های پیش بینی، اطلاعاتی را درخصوص عملکردهای آینده سیستم در اختیار می‌گذارد. آینده نیز زمانی است وابسته به نوع سیستم و ممکن است کسری از ثانیه برای عملکرد یک موشک زمین به هوا و یا چند دهه مانند آنچه برای عملکرد نیروگاه‌های برق مطرح است باشد. عملکرد یک سیستم درهیچ موردی به صورت قطعی قابل تعریف نیست و دارای طبیعت اتفاقی بوده و به صورت اتفاقی در تغییر است. ارزیابی فرایندهای اتفاقی صرفا با شیوه‌های احتمالات میسر است.

ولی باید توجه داشت که تئوری احتمالات به تنهائی قادر به پیش بینی قابلیت اطمینان و یا ایمنی یک سیستم نیست و باید درک کاملی از سیستم، طرح آن، طریقه عمل واز کارافتادن آن، محیط عمل و تنش‌هایی که تحت آن شرایط واقع می‌شود در اختیار داشت. لذا در اینجاست که باید قضاوت‌های مهندسی را به کار برد. بنابراین تئوری احتمالات فقط ابزاری است تا بوسیله آن اطلاعات یک سیستم را تبدیل به پیش‌بینی عملکرد احتمالی نمود. تعریف‌های بسیاری برای بیان قابلیت اطمینان شده است ولی یکی از این تعریف‌ها مقبولیت و پذیرش همگانی‌تری یافته است:

قابلیت اطمینان یک سیستم است عبارت است از احتمال عملکرد رضایتبخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین. این تعریف شامل چهار بخش اصلی است: احتمال- عملکرد رضایتبخش-زمان و شرایط کار معین. اولین بخش؛ احتمال، با یک عدد بیان می شود که همان شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان می باشد. در بسیاری از موارد این شاخص مهمترین شاخص به شمار می آید اگر چه پارامترهای عدیده ای ورای آن مطرح است. واما در سه بخش دیگر شامل عملکرد رضایتبخش، زمان و شرایط کار معین که همگی پارامترهای مهندسی هستند، تئوری احتمال هیچ گونه کمکی نمی کند. فقط مهندسین و متخصصین قادر به تامین اطلاعات مربوط به عملکرد رضایتبخش می باشند و زمان ممکن است به صورت ممتد و یا منقطع مطرح باشد و نهایتا شرایط کار ممکن است کاملا یکنواخت و یا به شدت در تغییر باشد. شرایط کار متغیر مانند میزان رانش در یک راکت فضایی و یا شرایط بلند شدن از زمین، طی کردن میسر و فرود یک هواپیما است و یا محصول ها و سیستم‌هایی که برای کار تحت شرایط جوی مورد استفاده قرارمی‌گیرند دارای شرایط محیطی متغیری می‌باشند. آهنگ از کارافتادگی وابستگی شدیدی به شرایط کار و همچنین سطح یا میزان تنش ها دارد و لذا در مدلسازی به این امر باید توجه خاصی مبذول داشت[۱].

تعیین معیار عملکرد رضایتبخش خود یک مسئله مهندسی است. از کارافتادگی در یک سیستم ممکن است به شکل‌های مختلف اتفاق و آن مشتمل است بر:

- ازکارافتادگی فاجعه آمیز
- ازکارافتادگی عمده
- تنزل مشخصات از یک حدود معین. (به عنوان مثال خروجی یک پمپ مکانیکی ممکن است از یک حداقل مجاز کمتر شود در حالیکه هنوز همچنان درحال کار باقی باشد.)

۱-۲-٤) قابلیت اطمینان و دسترس پذیری

طبق تعریف‌ها، بدیهی است که قابلیت اطمینان به عبارتی مبین تداوم عملکرد بدون وقوع از کارافتادن می‌باشد، (به عنوان مثال در به انجام رساندن یک ماموریت) و لذا قابلیت اطمینان عبارت خواهد بود از احتمال باقی ماندن سیستم و یا یک قطعه در شرایط عملکرد بدون وقوع از کارافتادن. توجه می‌شود که اینگونه تلقی از قابلیت اطمینان مقیاس کاملا نامناسبی برای سیستم‌های با عملکرد ممتد می‌باشد زیرا از کارافتادن در این سیستم‌ها قابل پذیرش است. در این حالت مفهوم ومقیاس دیگری بنام دسترس پذیری مناسبت می‌یابد، و آن عبارت از احتمال یافتن سیستم در شرایط لازم برای عملکرد در آینده است، که در واقع مفهومی جدید می‌شود زیرا که از کارافتادن محتمل است و اگرچه سیستم دچار از

کارافتادگی‌هایی خواهد بود (که قابل اصلاح نیز می‌باشد) ولی احتمال این که آن را در دسترس برای استفاده بیابیم مورد توجه است. این دو مفهوم در همین جا نشان می‌دهد که نمی توان صرفا یک مقیاس فراگیر برای بیان کیفیت عملکرد به کاربرد شاخص‌های دیگری نیز علاوه بر این دو مطرح است که هر یک جایگاه کاربردی خاص خود دارد.

۱-۲-۵) قابلیت اطمینان مطلق و نسبی

قابلیت اطمینان مطلق و نسبی در کاربردهای عملی مکررا مطرح می‌شود. قابلیت اطمینان مطلق شاخصی است که مبین انتظار ما از سیستم است. این شاخص بویژه بر مبنای اطلاعاتی تعیین می‌شود که از سوابق عملکرد در دست است و وقوف کاملی از آن در اختیار می‌باشد در حالی که برای پیش بینی آینده با درجه ای از اطمینان می‌توان اقدام کرد و علت آن صرفا نااطمینانی‌های عدیده موثر در وقوع پدیده‌هاست.

بنابراین قابلیت اطمینان نسبی شاخص خواهد بود تا با اطمینان معینی از نااطمینانی‌های آینده برای حصول قابلیت اطمینان مطلق بحث کنیم. بدین وسیله با اعمال تغییراتی در مشخصات یک طرح یا سیستم، تغییرات قابلیت اطمینان نیز بطور نسبی سنجش پذیر می‌شود و از این رو شاخص نسبی برای قابلیت اطمینان کاربرد دیگر این چنینی نیز در بردارد.

۱-۲-٦) روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان

باتوجه به این که برای هر مسئله ای شاخص مناسبی در بیان قابلیت اطمینان یک سیستم منطبق بر مفاهیم کاربری و کارایی آن باید به کار رود، روش‌های ارزیابی مختلفی در ارتباط با شاخص‌های مناسب مسائل نیز مطرح است. به طور کلی دو گروه برای روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان مطرح می‌باشند.

- تحلیلی
- مشابه‌سازی

در روش تحلیلی متوسل به مدل ریاضی و بیان مسئله در قالب فرمول‌ها و راه حل‌های ریاضی می‌شویم. درحالیکه در روش مشابه‌سازی برآورد شاخص‌های قابلیت اطمینان بر مبنای مشابه سازی فرایند و مطالعه رفتارمتغیر و اتفاقی یک سیستم صورت می‌گیرد و لذا مشتمل بر یک سری آزمایشات واقعی می‌شود. هریک از این روش‌ها با محاسن و همچنین کاستی‌هایی همراه است. روش مشابه‌سازی نیاز به حجم و زمان محاسباتی زیادی دارد و لذا وقتی مورد استفاده قرار

می‌گیرد که نتوان با روش تحلیلی به نتیجه رسید در حالیکه در روش تحلیلی با پیاده سازی های آن نمی‌توان همه تاثیرپذیری‌های سیستم را پوشش داد.

۱-۲-۷) بهسازی قابلیت اطمینان

ملاحظات مربوط به قابلیت اطمینان جایگاه ویژه‌ای در مرحله طراحی سیستم دارد. چگونگی دستیابی و در نظر گرفتن آن در قسمت بعدی ارائه می‌شود. در اینجا، ابتدا راه‌های اصلی بهسازی قابلیت اطمینان یک سیستم ارائه می‌شود. قابلیت اطمینان از دو طریق اصلی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. طریق اول مرتبط با کیفیت و طریق دوم کاربرد مازاد است.

اولین استناد یعنی کیفیت خودآشکار است و نه تنها مرتبط با مواد و اجزاء فیزیکی مورد استفاده در یک سیستم می‌باشد بلکه شامل کیفیت ساخت، آزمایش، کالیبراسیون، حمل‌ونقل و بهره‌برداری نیز می‌شود.

این موارد خود بستگی به کیفیت و تجربه نیروی انسانی مربوطه دارد. تنش‌هایی که متوجه آنان است، آموزش‌هایی که به آنان داده شده است و همچنین محیط کار به لحاظ فاکتورهای انسانی که در آن کار می‌کنند.

نقش بسیار مهم فاکتورهای انسانی در قابلیت اطمینان شناخته شده است ولی کمیت سازی آنها در انطباق با واقعیات بسیار دشوار می‌باشد. حجم قابل توجهی از تحقیق و توسعه در ارتباط با این زمینه از فعالیت صرف می‌شود اما نتایج آن تاکنون صرفا تاکید بر دستورالعمل های چگونگی اجرای خوب داشته است. در دومین استناد با پذیرش این واقیعت که اجزاء هرسیستمی در زمان هایی از ادامه کار باز می‌مانند، توصیه بر پشتیبانی کافی برای سیستم دارد به نحوی که از کار افتادن یک جزء توسط دیگر اجزاء پوشش داده شده تا علیرغم این که جزء معیوب، تعمیرپذیر باشد یا نباشد بتوان سیستم را در شرایط عملکرد رضایتبخش نگه داشت. این پشتیبانی به نام کاربرد مازاد شناخته می‌شود.

کاربرد مازاد شامل دو نوع فعال و آماده کار می‌شود. هرگاه عملکردی مشترکا توسط هریک از اجزاء در حال کار تامین شود و در صورت از کار افتادن یک جزء به توسط دیگر اجزاء، عملکرد همچنان تداوم یابد، مازاد از نوع فعال در اختیار است و آن را مازاد موازی نیز می‌نامند. مازاد آماده کار در شرایط آماده کار ولی بیکار می‌ماند تا این جزء یا اجزاء اصلی از کار بیفتد و در این صورت برای تداوم عملکرد سیستم به کار واداشته می‌شود.

بهسازی از طریق پردازش به کیفیت و یا کاربرد مازاد مستلزم سرمایه گذاری بیشتر است. روش دیگر برای بهسازی قابلیت اطمینان ایجاد تنوع است، به این مفهوم که وقتی که کاربرد مازاد برای یک سیستم در نظرگرفته می‌شود اگرچه

انتخاب اجزاء مشابه مزایایی در بردارد توصیه می شود که از سازندگان مختلف تامین می‌گردد و یا اساسا این که از اجزاء غیرمشابه استفاده شود.

منطق حاکم در این توصیه مبتنی بر احتراز از تکرار نقاط ضعف اجزاء (به لحاظ خطای طراحی و یا ساخت) در قالب تعدادی از اجزاء مشابه در یک سیستم است. آشکار است که این روش سعی در حذف اجزاء ضعیف تر دارد نه این که ندانسته یک جزء با استحکام بالاتر بوسیله یک جزء ضعیف تر جایگزین شود.

روش‌های دیگر برای بهسازی قابلیت اطمینان شامل نگهداری یدکی و اجرای تعمیرات پیشگیری از بروز عیب می‌شود. دسترسی فوری به یدکی از نظر مفهوم شبیه کاربرد مازاد آماده کار است به جز آن که در این روش، جایگزینی به صورت دستی و با صرف زمان قابل احتساب انجام می‌گیرد ولی جایگزینی مازاد آماده کار معمولا به صورت اتوماتیک و یا دستی با صرف زمان اندک انجام می‌شود. بنابراین با کاربرد یدکی مدت از کار افتادن به مراتب طولانی‌تر است اما طرح و ترکیب سیستم ساختارساده تری دارد. نگهداری یدکی یک مسئله اقتصادی است و با شیوه های بهینه‌سازی در مورد تعداد بهینه یدکی و همچنین توزیع متمرکز و یا غیر متمرکز آن تصمیم‌گیری می‌شود. ملاحظات کاربرد یدکی شمولی از هزینه، احتمال از کار افتادن اجزاء در حال کار و عمر نگهداری یدکی در انبار دارد.

تعمیرات پیشگیری در دو مرحله یکی وقتی که از کارافتادگی‌هایی در مراحل اولیه بهره‌برداری مشاهده می‌شود و دیگر وقتی که اجزاء به پایان عمر مفید خود نزدیک می‌شوند باید اجرا شود. تنظیم برنامه اجرای این کار در عمل بسیار دشوار است و لذا تعمیرات پیشگیری مکررا و در فواصل زمانی منظم که باید بازرسی و جایگزینی در صورت نیاز و یا علیرغم نیاز صورت گیرد انجام می‌شود[۱].

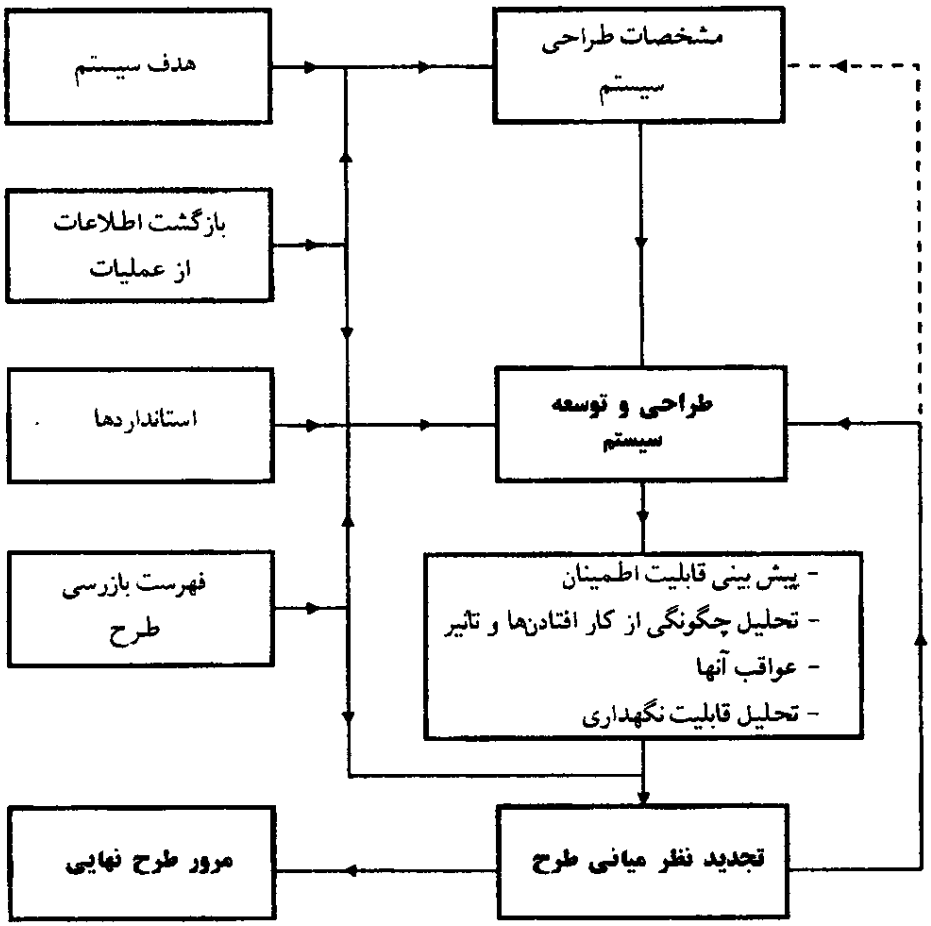
۱-۲-۸) طراحی سیستم با نگرش دستیابی به قابلیت اطمینان

این نکته حائز اهمیت است که ارزیابی قابلیت اطمینان محصول یا سیستم باید در امتداد فرایند طراحی و به عنوان بخش تفکیک ناپذیری آن همواره مورد توجه قرارداشته باشد. در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و سعی در افزایش آن در زمان های بعدی پس از طراحی غیرعملی است و حتی در جایی که این کار به صورت فیزیکی میسر باشد مستلزم صرف هزینه های بسیار و غیرضروری می باشد. بنابراین هر محصول و یا سیستمی دارای قابلیت اطمینان ذاتی است که در مرحله طراحی برای آن ایجاد می‌شود.

این ویژگی صرفا تحت شرایطی که از بهترین شرایط ساخت و بازرسی کیفیت برخوردار باشیم به محصول یا سیستم انتقال می‌یابد. بهترین بازرسی کیفیت هم نمی‌تواند قابلیت اطمینان ذاتی ونهفته محصول یا سیستم را که در مرحله

طراحی شکل می‌گیرد بهبود ببخشد. آشکار است که قابلیت اطمینان و بازرسی کیفیت باهم بسیار مرتبط و مربوط می‌باشد. روش‌های رسمی متعددی در بازرسی و حصول کیفیت وجود دارد و یکی از متداولترین آنها روش تاگوچی[۲] است. این روش و سایر روش‌های مشابه موجود، روش‌های سازمانی جهت تضمین بازرسی کیفیت می‌باشد. علاوه بر این نیز شیوه های آماری برای بازرسی کیفیت و همچنین بازرسی فرایند در اختیار است. قابلیت اطمینان ذاتی حتی پس از ساخت نیز به علت بهره‌برداری نامناسب یا نابجا و روش های نگهداری نامطلوب تضعیف شده و کاهش می‌یابد.

بنابراین، قابلیت اطمینان و حفظ آن باید مورد توجه همه مهندسانی که مسؤل یک محصول و یا سیستم از مرحله ایجاد تا مرحله منسوخ شدن آن هستند قرار داشته باشد.



شکل۱-۱ نمودار مفهومی مراحل در طراحی سیستم[۳]

[۲] Taguchi approach

[۳] R. Bilinton, R. Allan, "Reliability Evaluating Engineering Systems" Longman Scientific and Technical, ۱۹۸۷.

مراحل طراحی سیستم در قالب مفهومی آن در شکل ۱-۱ نمایانده شده است. فرایند، خود را تکرار می‌کند و قبل از رسیدن به طرح نهائی ممکن است چندین تجدیدنظر صورت گیرد. هدف سیستم باید به وضوح فهمیده شود تا متضمن مشخصات صحیح برای پارامترهای طرح شود. مشخصات طرح به عبارتی همان تفسیر جزئیاتی است که الزامات سیستم را برحسب ویژگی های مبین نیازهای سخت افزاری تعریف می کند. در بسیاری از موارد، این مشخصات توسط گروهی مستقل از کسانی که آنها را تعریف کرده اند، به طور سیستماتیک بازبینی می شود.

همانگونه که در شکل ۱-۱ ارائه شده‌است فرآیند، در مرحله مرور و تجدیدنظر طرح به بالاترین سطح پیشرفت خود می‌رسد. در چنین فرایندی به اطلاعات و تجربیات وسیعی در تمام زمینه های مهندسی، ساخت و راهبری یک سیستم و یا تجهیزات نیاز است. هدف اساسی، تامین تضمیناتی است که رضایتبخش ترین طرح برای نیازها انتخاب شود. این تضمینات باید به طریقی منطقی و منسجم مستندسازی شود.

در کاربرد مفاهیم قابلیت اطمینان برای پیش بینی قابلیت اطمینان سیستم باید تمام تجربیات حاصل از طرح ها و عملکردهای گذشته انعکاس یابد. فعالیت‌های مرتبط با قابلیت اطمینان باید هماهنگ با سایر فعالیت های پروژه صورت گیرد تا ورودی های مفیدی در نقاط تصمیم‌گیری در اختیار گذارد. مفهوم نقطه تصمیم اهمیت فوق العاده‌ای دارد و پرسنل قابلیت اطمینان باید همواره در جریان پیشرفت کار قرارگیرند تا تامین کننده اطلاعات ضروری در زمان مناسب باشند. این پرسنل علاوه بر تعیین شاخص‌های کمیت سنجی باید در ارتباط با امور ذیل نیز فعالیت داشته باشند:

- تنظیم توضیح و تکمیل نقشه‌های مهندسی قبل از صدور آنها
- حضور درجلسات اولیه گروه طراحی
- تنظیم پیشنهاد جهت بهسازی طرح
- فراهم سازی حس فیزیکی ازعمق تحلیل‌های موردنیاز درنقطه تصمیم آینده

اجزاء اساسی دریک فرآیند طراحی برای دستیابی به قابلیت اطمینان و همچنین عمق تحلیل‌هایی که برای تکامل سیستم مورد نیازست بستگی به اطلاعات در دسترس از سیستم دارد. برخی از فعالیت هایی که ذیلا به آنها اشاره می‌شود صرفا باید در مرحله ای جلوتر از فعالیت های پروژه انجام گیرد. به طورکلی فعالیت های مرتبط با قابلیت اطمینان برای دستیابی به موارد در پی آماده است:

- شناسائی محدوده‌های ضعیف و نقاط ضعف طرح
- مقایسه طرح و ترکیب‌های مختلف

- مقایسه روش‌های طراحی مفهومی
- مساعدت در جداسازی عملیات اصلاحی طرح
- شناسائی قسمت‌هایی از طرح که نیاز به کاربرد مازاد دارد.
- تعیین آن که آیا نیاز به اطلاعات بیشتری با انجام آزمایش می‌باشد.
- تقسیم بندی اهداف مرتبط با قابلیت اطمینان سیستم و طرح‌ریزی طرحی که پاسخگوی الزامات آن باشد.
- برنامه‌ریزی الزامات جهت اجرای برنامه آزمایشات
- برآورد نیازها جهت سیستم‌های دارای مازاد فعال و آماده کار و همچنین قطعات یدکی
- شناسائی مشکلات بالقوه و ارائه طریق برای رویاروئی با آنها و ایجاد سازگاری

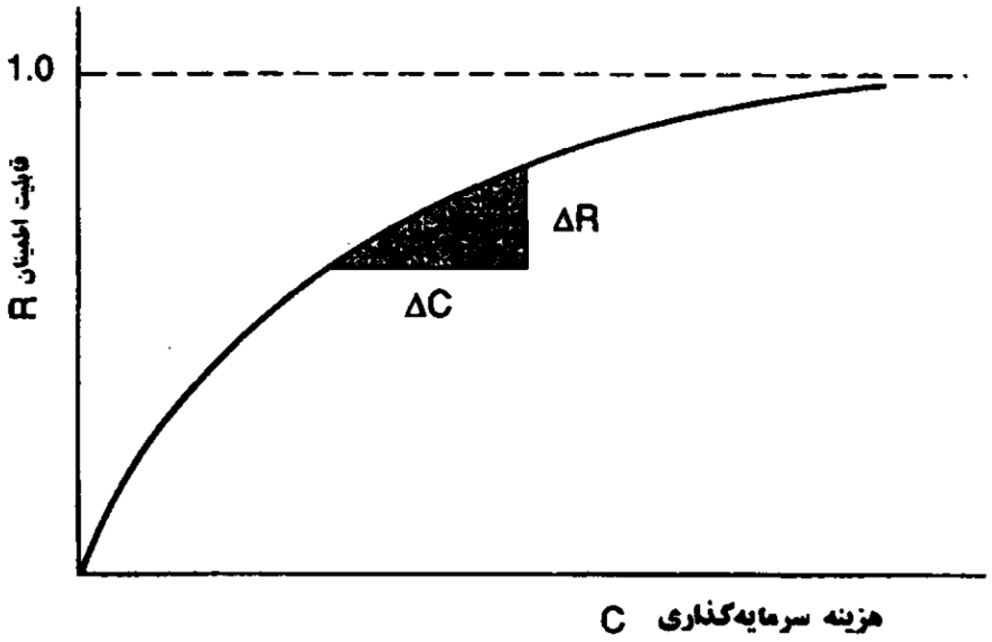
فعالیت مرتبط با قابلیت اطمینان همچمنین با نگرش به قابلیت پشتیبانی سیستم انجام می‌گیرد. تحلیل‌های قابلیت پشتیبانی برای تبیین نوع الزامات جهت نگهداری اجزاء و واحدها به کار می‌رود. این تحلیل‌ها برای همه اجزای مهم و بحرانی تجهیزات صورت می‌گیرد، تا الزامات نگهداری به سادگی و سهولت تامین شود. این کار می‌تواند شامل تحلیلی بر کل طرح و ترکیب سیستم در رابطه با کاربرد مازاد و پیش بینی قطعات یدکی و یا اصلاحاتی در ترتیب استقرار اجزاء جهت تامین سهولت دسترسی شود.

۱-۲-۹) بررسی اقتصادی قابلیت اطمینان

نکته عمده بحث در قسمت های قبل بر قابلیت اطمینان متمرکز بوده است. حال آن که چنانچه اشاره شد، هزینه‌ها و اقتصاد نقش عمده‌ای در کاربرد قابلیت اطمینان و لزوم دستیابی به آن ایفا می کند. در این قسمت سوال مطروحه این است که هزینه بعدی در کجا و بر روی چه چیزی در سیستم باید صرف شود تا منافع حاصل از قابلیت اطمینان بیشترین مقدار را دارا شود؟ پاسخگوئی به این سوال می‌تواند فوق العاده دشوار باشد، ولی این یک سوال حیاتی است که صرفا از طریق تلاش در تشکیل شاخص‌های مقداری برای قابلیت اطمینان (برای ارزیابی هریک از راه حل‌ها) می‌توان پاسخ آن را یافت.

بنابراین آشکار است که قابلیت اطمینان و اقتصاد نقش متحد و عمده ای در فرایند تصمیم‌گیری دارند. اولین گام در این فرایند درشکل ۱-۲ نمایانده شده که در آن چگونگی ارتباط میان قابلیت اطمینان یک محصول (یا سیستم) و هزینه سرمایه گذاری در آن نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بهسازی قابلیت اطمینان همواره مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر است. همچنین این شکل به وضوح نشان می‌دهد که روند کلی نسبت میان هزینه به قابلیت اطمینان به افزایش

سطح قابلیت اطمینان یک روند افزایشی است. به عبارت دیگر با صرف سرمایه‌گذاری معین در سطوح بالاتری از قابلیت اطمینان، بهبود کمتری در قابلیت اطمینان به دست می‌آید. در هر صورت، دستیابی به قابلیت اطمینان بالا، پرهزینه و گران است.



شکل ۱-۲ هزینه نسبی در بهسازی قابلیت اطمینان[٤]

تعیین هزینه نسبی در بهسازی قابلیت اطمینان مطابق آنچه در شکل۱-۲ ارائه شده است یکی از طرق ارزشیابی در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری‌های بیشتر است.

حال آنکه چنین شاخصی به میزان کافی انعکاس دهنده منافع قابل حصول برای سازنده، صنایع خدماتی و یا مصرف کننده و جامعه نیست. دو جنبه قابلیت اطمینان و اقتصاد را می‌توان از طریق مقایسه هزینه دستیابی قابلیت اطمینان معین و ارزش‌های حاصل از آن سطح از قابلیت اطمینان، به شکل منسجم تری ارزیابی کرد. هزینه ای که مصرف‌کننده یا جامعه برای دستیابی به قابلیت اطمینان معین می‌پردازد، باید با ارزش یا منافع حاصله برای مصرف‌کننده یا جامعه در اثر برخورداری از آن قابلیت اطمینان معین ارتباط داده شود. این نوع ارزیابی اقتصادی زمینه اساسی و مهمی

[٤] R. Bilinton, R. Allan, "Reliability Evaluating Engineering Systems" Longman Scientific and Technical, ۱۹۸۷.