

طراحی الکترونیک در سطح سیستم: زمینه‌های پیدایش و راهکارهای بهره‌برداري

زين العابدین نوابی شیرازی و سمیه صادقی کهن

چکیده: زبانهای توصیف سخت‌افزار اولین بار با معرفی زبان ای‌پی‌ال، که شرکت آی‌بی‌ام برای مدل کردن و شبیه‌سازی مدارهای دیجیتال این شرکت ارائه کرده بود، به وجود آمدند. پس از آن در اوایل دهه ۱۹۷۰ زبانهای توصیف سخت‌افزار دیگری مانند ای‌چ‌پی‌ال که از ای‌پی‌ال سرچشمه گرفته بود و دیگر زبانهای توصیف در سطح انتقال ثبات به عرصه ظهور رسیدند. زبانهای سطح ثبات با به وجود آمدن وی‌اچ‌دی‌ال در دهه ۱۹۸۰ به رسمیت رسیدند و معنای جدیدی در اتوماسیون طراحیهای الکترونیک به وجود آوردند. در این تعریف جدید طراحیهای الکترونیک شامل شبیه‌سازی، سنتز و مدلسازی فیزیکی و همچنین، ابزاری برای آزمون قبل و بعد از ساخت سیستم شد. در حال حاضر، با تغییرات به وجود آمده در روند طراحی سیستم‌های دیجیتال، یکپارچه‌سازی آنها و شبیه‌سازی ترکیبی سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال، زبانهای توصیف سخت‌افزار به سمت مرحله جدیدی در حرکت هستند. زبانهای توصیف سخت‌افزار امروزی محیطی برای پیاده‌سازی سیستم‌های ترکیبی مکانیکی و الکترونیکی آنالوگ / دیجیتال ارائه می‌دهند و در سیر تکاملی طراحیهای سطح سیستم تأثیر بسزایی دارند. در این مقاله روند تغییر طراحی سیستم‌های الکترونیکی ارائه و نقش زبانهای توصیف در این روند نشان داده شده است. همچنین، با ارائه راهکارهایی در این خصوص به همراه شدن کشور با این سیر تکاملی طراحی و پیشرفت با آن پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: طراحی سیستم‌های الکترونیکی، طراحی سطح انتقال ثبات، طراحی سطح سیستم، زبانهای توصیف سخت‌افزار.

۱. استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران. zain.navabi@gmail.com

۲. دانشجوی دکتری الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران. sm.sadeghi79@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۴/۱)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۷)

۱. مقدمه

با افزایش روزافزون پیچیدگی مدارهای مجتمع و کاهش زمان عرضه به بازار در صنعت نیمه هادی، طراحان و مهندسان سیستم‌های الکترونیکی همواره در کوشش برای یافتن روشهای طراحی جدیدی بوده‌اند که بتوانند با این روند پیشرفت همراهی و تغییرات عمده‌ای در میزان بهره‌وری طراحی ایجاد کنند. حاصل این تلاشها در نهایت، به بالا رفتن سطوح انتزاعی در مدلسازی سیستم‌های دیجیتال و پیدایش روشهای جدید در طراحی آنها منجر شده است. در طول این مسیر همواره احتیاج به زبانهایی برای توصیف طراحی بوده است و زبانهای توصیف سخت افزار سطوح طراحی جدید را به وجود آورده‌اند. در این مقاله سعی شده است تا نقش این زبانها در روند طراحی سیستم‌های الکترونیکی بررسی شود. سپس، با نگاه به تاریخچه طراحی این سیستم‌ها، نقش زبانها و آخرین سطح طراحی موجود، راهکارهایی در زمینه صنعت، پژوهش و آموزش ارائه شده است تا بتوان با استفاده از پتانسیلهای موجود در کشور با این روند رو به رشد همراهی کرد و گامی در جهت پیشرفت کشور در صنایع الکترونیک برداشت.

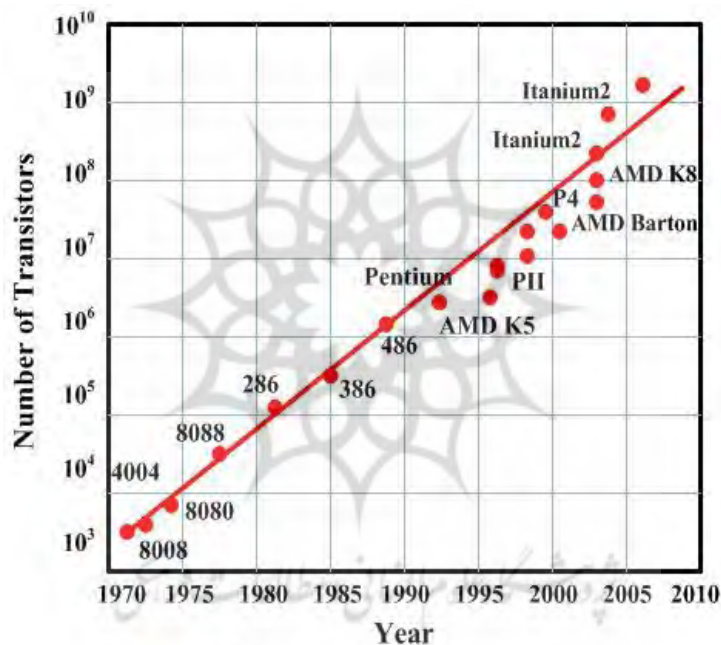
در قسمت دوم مقاله سیر تکاملی روشهای طراحی سیستم‌های الکترونیکی بررسی و نشان داده شده است که زبانهای توصیف سخت‌افزار نقش اصلی و انکارناپذیری در هر سطح انتزاع طراحی ایفا می‌کنند. با توجه به اهمیت این زبانها، در قسمت دوم مقاله تاریخچه زبانهای توصیف سخت‌افزار و همچنین، خصوصیات این زبانها در طراحیهای سطح انتقال ثبات و سطح سیستم بیان شده است. در قسمت سوم مقاله راهکارهایی در سه مقوله صنعت، پژوهش و آموزش برای پیشرفت کشور در زمینه طراحی در سطح سیستم و همگام شدن با سایر کشورها ارائه شده است. در قسمت چهارم مقاله راهکارهایی که در دانشگاه تهران برای این منظور استفاده شده است، به‌عنوان یک مثال موفق معرفی شده و در قسمت آخر مقاله نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری صورت گرفته است.

۲. سیر تکاملی روشهای طراحی سیستم‌های الکترونیکی

معمولاً افزایش اندازه سیستم‌های الکترونیکی به‌وسیله قانون مور پیش‌بینی می‌شود که قانونی برای پیش‌بینی میزان پیشرفت در فناوری است. بر اساس این قانون در بازه‌های زمانی مشخص [مثلاً هر ۱۸ ماه] میزان پردازش پردازنده‌ها، گنجایش حافظه‌ها، حساسیت حسگرها، پیکسل‌های دوربینها و هر فناوری دیگری دو برابر می‌شود. با کمک رشد تصاعدی [مثلاً دو برابر شدن در هر ۱۸ ماه] توضیح داده شده در قانون مور، پیش‌بینی فناوریهای دیجیتالی زیادی از جمله اندازه، قیمت، فشردگی و سرعت اجزای دیجیتالی امکان پذیر شده است. بیش از نیم قرن از عمر این قانون می‌گذرد و همچنان پیشرفتهای طبق آن ادامه دارد. در شکل ۱ طرحی از تعداد ترانزیستورهای پردازنده‌ها بر حسب تاریخ

زین العابدین نوابی شیرازی و سمیه صادقی کهن ۱۱۹

عرضه شده است. توجه شود که مقیاس در خط عمودی (تعداد ترانزیستورها) به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. این طرح به خوبی نشان می‌دهد که تعداد ترانزیستورها در واحد سطح هر دو سال یک بار دو برابر می‌شود. تحلیلگران حدس می‌زنند که این قانون حداقل تا سال ۲۰۱۵ یا ۲۰۲۰ نیز ادامه یابد [دو برابر شدن پیشرفتهای تکنولوژیک به صورت دوره‌ای ادامه یابد]. البته، مقایسه فناوریهای سال ۲۰۱۰ ثبت شده در نقشه راه فناوری بین‌المللی نیمه رساناها^۱ با فناوریهای پایان سال ۲۰۱۳ نشان داد که سرعت افزایش تعداد و فشردگی ترانزیستورها به نسبت هر ۳ سال ۲ برابر شده است.



شکل ۱. رشد تعداد ترانزیستورها بر اساس قانون مور [۱]

با توجه به قانون مور، همواره تعداد ترانزیستورهای مدارهای الکترونیکی افزایش می‌یابد و موجب می‌شود که پیچیدگی طراحی آنها نیز افزایش یابد. پیچیدگی طراحیها سبب تکامل سطوح طراحی شده است و سطوح طراحی بالاتر به وجود آمده‌اند. در طی پنجاه سال گذشته سطوح انتزاعی طراحی

1. International Technology Roadmap for Semiconductors

۱۲۰ طراحی الکترونیک در سطح سیستم: زمینه‌های پیدایش و راهکارهای بهره‌برداری

تکامل یافته و از سطح ترانزیستور به سطح گیت و سپس، به سطح انتقال ثبات و در نهایت، به سطح سیستم رسیده است. با توجه به پیشینه طراحی سیستم‌های الکترونیک مشاهده می‌شود که روند تکامل سطوح طراحی از سطحی به سطح بالاتر به‌طور متوسط در هر ۱۵ تا ۱۸ سال اتفاق می‌افتد. با تغییر سطوح طراحی، روشهای طراحی مدارهای الکترونیک، زبانهای توصیف آنها، ابزارهای شبیه‌سازی و سنتز و آزمون و عیب‌یابی آنها نیز تغییر یافته‌اند و نیاز به بازنگری دارند. همچنین، با افزایش پیچیدگی سیستم‌های الکترونیکی، نیاز به یکپارچه‌سازی سیستم‌هایی شامل اجزای دیجیتالی، نرم‌افزاری، آنالوگ و ... امری مهم و اجتناب‌ناپذیر شده است. بنابراین، در ادامه این بخش ابتدا روند گرایش طراحی سیستم‌های الکترونیک بررسی شده است و اینکه چگونه سطوح مختلف طراحی و نیز سطح انتقال ثبات و پس از آن سطح سیستم به‌وجود آمده‌اند و سپس، متدولوژی طراحی در هر سطح بررسی شده است. انتقال ثبات، متدولوژی طراحی افراز مسیر داده - کنترل، روش فراگیر برای طراحی در این سطح است. بنابراین، برای طراحی در سطح سیستم با توجه به پیچیدگی بیشتر سیستم‌ها، نیاز به یک متدولوژی طراحی خواهیم داشت. وقتی صحبت از روش طراحی می‌شود، به روشی برای توصیف آن نیز نیاز است و بنابراین، در هر سطح طراحی زبانهایی به‌وجود آمده‌اند که برای توصیف طراحی در آن سطح استفاده می‌شوند و بسته به سطح طراحی، مشخصات آنها نیز با هم فرق خواهد داشت. این زبانها نقش کلیدی در سیر تکاملی روشهای طراحی سیستم‌های الکترونیک ایفا می‌کنند. زبانهای توصیف سیستم‌های الکترونیکی پایه ابزاری هستند که در طراحی سیستم‌های الکترونیک به‌سرعت بخشیدن فرایند طراحی کمک می‌کنند. این ابزارها شامل شبیه‌سازها، ابزارهای سنتز، آزمون سیستم و همچنین، عیب‌یابی هستند.

در این سیر تکاملی مسئله مهم دیگری که وجود دارد، یکپارچه‌سازی طراحی است و اینکه چگونه اجزای مختلف یک سیستم در کنار هم قرار داده و در یک محیط طراحی یکپارچه، ماژولهای گوناگون از قبیل دیجیتال، آنالوگ، نرم‌افزار و ... طراحی و شبیه‌سازی شوند. این مسئله در طراحیهای

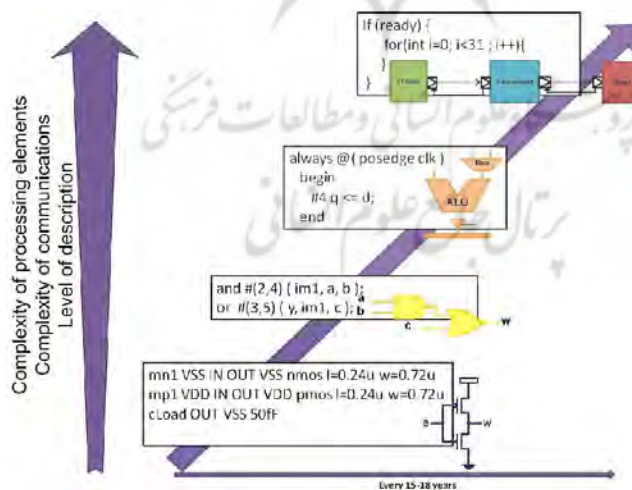
-
1. Register Transfer Level
 2. System Level
 3. Simulation
 4. Synthesis
 5. Test
 6. Debug
 7. Partition
 8. Datapath- Control
 9. Integration

پیچیده امروزی امری بسیار مهم است. در ادامه مقاله هر کدام از این موارد به صورت جداگانه بررسی شده است.

۳. روند گرایش طراحی سیستم‌های الکترونیکی

با توجه به روند تکامل مدارهای دیجیتال، این نکته را می‌توان دریافت که آنچه پیشرفت کرده، در واقع، پیچیدگی واحدهای محاسباتی و همچنین، اتصالات بین آنها بوده است. در شکل ۲ سیر تکاملی سیستم‌های الکترونیکی به سطوح انتزاعی بالاتر نشان داده و در ادامه هر یک از سطوح انتزاعی طراحی به اختصار توضیح داده شده است.

در سطح ترانزیستور واحدهای محاسباتی بسیار ساده و در واقع، همان ترانزیستورها هستند. اتصال بین این واحدها از طریق سیم است. از کنار هم قرار دادن تعدادی ترانزیستور و متصل کردن آنها به یکدیگر می‌توان توابع بولی را اجرا کرد. در این مدارها انتقال داده در پایین‌ترین سطح انتزاع و از طریق سیمها صورت می‌گیرد. واحدهای محاسباتی نیز بسیار ساده‌اند و در واقع، سوئیچهایی با وضعیت خاموش/روشن هستند که فقط از طریق ورودی گیت ترانزیستور کنترل می‌شوند. واضح است توصیف مدار در سطح انتزاعی بسیار پایین چون سطح ترانزیستور، به طراح اجازه انتخاب اندازه ترانزیستورها و اندازه سیمهای بین آنها را نیز می‌دهد و بنابراین منجر به طراحی بهینه منجر خواهد شد؛ با اینحال این روش نمی‌تواند برای مدارهای بزرگ و پیچیده استفاده شود [۲].



شکل ۲. سیر تکاملی روشهای طراحی مدارهای الکترونیکی [نگارنده]

همان‌طور که اشاره شد، با افزایش پیچیدگی مدارهای الکترونیکی و تعداد ترانزیستورهای سازنده آنها روش طراحی در سطح ترانزیستور نمی‌توانست پاسخگوی نیاز طراحان برای طراحی سیستم‌های بزرگ‌تر باشد و لذا، حرکت به سوی طراحی در سطح انتزاعی بالاتر؛ یعنی سطح گیت صورت گرفت. در این سطح انتزاع از بسیاری از جزئیات مورد نیاز طراحی در سطح ترانزیستور چشمپوشی می‌شود. واحدهای محاسباتی سازنده مدار گیت‌هایی متشکل از ترانزیستورهای سطح پایین‌تر هستند و عملکرد مشخصی را توصیف می‌کنند. همچنین، کانالهای ارتباطی یا همان اتصالات مدار از سیگنالهای بولی تشکیل یافته‌اند که داده‌های باینری را میان گیتها انتقال می‌دهند. در واقع، هر گیت یک عملیات منطقی را بر روی یک یا تعداد بیشتری از سیگنالهای ورودی خود انجام می‌دهد و حاصل عملیات را به صورت یک داده باینری بر روی خروجی می‌گذارد. عملکرد هر گیت معمولاً به وسیله یک جدول درستی یا جدول کارنو به صورت تابعی بولی از ورودیهای آن تعریف می‌شود.

با ادامه روند افزایش پیچیدگی مدارهای الکترونیکی و تعداد گیت‌های لازم برای توصیف آنها، حرکت دیگری به سوی طراحی در سطوح انتزاعی بالاتر صورت گرفت و طی دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ با ظهور سطح انتزاعی انتقال ثبات تغییر چشمگیری در روش طراحی مدارهای الکترونیکی ایجاد شد. در این سطح باز هم نسبت به سطح گیت جزئیات کمتری وارد توصیف مدارهای دیجیتال می‌شود. تمرکز اصلی در این سطح انتزاعی بر چگونگی انتقال داده‌ها بین ثباتها، واحدهای منطقی و گذرگاههای داده است و به همین دلیل، نام سطح انتقال ثبات به آن داده شده است [۳].

کانالهای ارتباطی در سطح انتقال ثبات گذرگاههایی به طول کلمه‌های داده هستند و واحدهای محاسباتی را بلوک‌هایی چون واحدهای محاسبه و منطق، مجموعه ثباتها، جمع‌کننده‌ها، شمارنده‌ها و تسهیم‌کننده‌ها تشکیل می‌دهند. بلوکهای عملیاتی از کنار هم قرارگرفتن تعداد بسیار زیادی گیت‌های سطح پایین‌تر تشکیل شده‌اند و عملکرد پیچیده‌تری در حد توابع منطقی و ریاضی

1. Interconnects
2. Truth Table
3. Karnaugh Maps
4. Registers
5. Buses
6. Word Length
7. Arithmetic Logic Unit
8. Register File
9. Adders
10. Counters
11. Functional Blocks

دارند. همچنین، کانالهای ارتباطی بین آنها نیز نسبت به اتصالات ساده سطح گیت ساختار پیچیده‌تری دارند و اطلاعات بیشتری را بر روی خود انتقال می‌دهند.

روند تکاملی طراحی سیستم‌های الکترونیک اکنون به سطح انتزاعی بالاتر بعدی؛ یعنی طراحی در سطح سیستم الکترونیکی رسیده است که به اختصار سطح سیستم نام دارد. روش طراحی در این سطح بسیار بالای تجرید شامل توصیف واحدهای محاسباتی بسیار بزرگی است که خود سیستم‌های پیچیده توصیف شده در سطح انتقال ثبات هستند و توصیف کانالهای ارتباطی بین آنها در واقع، سوئیچها و گذرگاههای داده با عملکرد پیچیده هستند. در این سطح طراحان فقط عملکرد سیستم را در نظر می‌گیرند و رفتار آن را به صورت الگوریتمی و بدون در نظر گرفتن مسائل زمان‌بندی، با یک زبان سطح بالای رویه‌ای همچون سی (C)، سی‌پلاس‌پلاس (+ C) یا سیستم سی (SystemC) توصیف می‌کنند [۴].

ابزارهای سطح سیستم شامل ابزارهای طراحی، شبیه‌سازی و تولید سخت‌افزار است. تولید سخت‌افزار معادل توصیف سطح بالای یک سیستم دیجیتال از دو طریق زیر انجام می‌شود:

- ترجمه توصیف سطح سیستم به توصیف معادل آن در سطح انتزاعی پایین‌تر سخت‌افزاری مانند سطح انتقال ثبات یا گیت؛
- کامپایل کردن توصیف رویه‌ای سطح بالا به صورت یک نرم‌افزار و اجرای آن بر روی یک پردازنده سخت‌افزاری [۱].

روش اول که مبتنی بر تولید سخت‌افزار معادل از توصیف سطح بالای سی (C) است، روش سنتز توصیف سی (C) نامیده می‌شود و روش دوم روشی است که امروزه، به عنوان طراحی سیستم‌های نهفته کاربرد دارد [۲].

امروزه، روش مدلسازی تراکنشی یا تی‌ال‌ام (TLM) بر اساس زبان سیستم سی، یکی از متداول‌ترین روشهای طراحی سطح سیستم به‌شمار می‌رود. همچنین، طراحی در سطح سیستم یا به تعبیری سطح تراکنش به عنوان قدم بعدی در روند تکامل روشهای طراحی و مدلسازی سیستم‌های الکترونیکی در نظر گرفته می‌شود. به بیان واضح‌تر، پیدایش سیستم سی - تی‌ال‌ام (SystemC-TLM)

-
1. Electronic System Level
 2. Algorithmic
 3. Procedural
 4. C Synthesis
 5. Embedded Systems
 6. Transaction Level Modeling

علاوه بر تعریف سطح انتزاعی جدید به نام سطح تراکنش، روش مدلسازی جدیدی را به نام روش مدلسازی تراکنشی بر اساس ساختارهای زبان سیستم سی پایه‌ریزی کرده است [۴].

۴. متدولوژی طراحی در سطوح مختلف

متدولوژی طراحی همیشه وجود داشته است. در واقع، در این سیر تکاملی که در نظر گرفته شده است، هیچ‌وقت طراحی بدون متدولوژی انجام نشده است. با پیشرفت بیشتر، سطوح بالاتر طراحی به وجود آمدند و همواره زمانی که طراحی در یک سطح بالاتر صورت می‌گیرد، متدولوژی سطح پایین‌تر بهتر نهادینه می‌شود. در واقع، در یک سطح از طراحی خیلی به متدولوژی فکر نمی‌شود و بیشتر به ارائه یک سری راهنماها پرداخته می‌شود. زمانی که به سمت سطح طراحی بعدی گام برداشته می‌شود، راهنماها به متدولوژی تبدیل می‌شوند و با استفاده از ابزارها روند خودکارسازی طراحی در آن سطح انجام می‌شود. بنابراین، زمانی که متدولوژی مشخصی ایجاد شود و ابزارهای خودکارسازی هم به وجود آیند، زمان پدیدار شدن سطح طراحی بالاتر فرا رسیده است.

در طراحیهای اولیه ترانزیستورها کنار هم قرار داده می‌شدند. از کنار هم گذاشتن ترانزیستورها توابع بولی و گیت‌های منطقی اولیه و مدارهای ساده ترکیبی و ترتیبی دیجیتال شکل می‌گرفتند. در واقع، علاوه بر راهنمایی که برای طراحی وجود داشت، یک سری آرایه‌های ساختاریافته هم وجود داشتند که روند طراحی را آسان‌تر می‌کردند. این آرایه‌های ساختار یافته در همه سطوح طراحی به وجود آمدند. می‌توان گفت که ساختارهای پل (PAL) و پی‌ال‌ای (PLA) و ... در سطح گیت، اف‌پی‌جی‌ای‌ها (FPGA) در سطح انتقال ثبات و شبکه‌های روی تراشه در سطح سیستم از این نوع آرایه‌های ساختار یافته هستند.

طراحی در سطح گیت هم متدولوژی خاص خودش را داشت. به صورت خیلی ساده می‌توان گفت که نگاشت کارنو قسمتی از متدولوژی طراحی در این سطح است و بر اساس آن، ابزارهای کوچکی به وجود آمدند که عبارتهای بولی را کاهش می‌دادند و مدار کاهش یافته را طراحی می‌کردند. می‌توان گفت که ساختارهای پل (PAL) و پی‌ال‌ای (PLA) و .. در سطح گیت آرایه‌های ساختاریافته هستند که به منظور تسهیل روند طراحی به وجود آمده‌اند.

-
1. Guideline
 2. Combinational Circuits
 3. Sequential Circuits
 4. Structured Array
 5. Network on Chip

در سطح انتقال ثبات از متدولوژی به صورت گسترده بهره‌وری شد. طراحی الکترونیکی در سطح انتقال ثبات با اتصال واحدهای عملیاتی پایه و پیش‌ساخته به یکدیگر به وسیله سیگنالها و گذرگاههایی که کانالهای ارتباطی را تشکیل می‌دهند، انجام می‌شود. از آنجایی که در این سطح انتزاعی معمولاً با طراحی مدارهای بزرگ سر و کار داریم، پیش از توصیف مدار به صورت قابل سنتز باید فرایند طراحی به صورت درست برنامه‌ریزی و برای جداسازی بخشهای متفاوت طرح تمهیداتی اندیشیده شود؛ بنابراین، فرایند طراحی در سطح انتقال ثبات معمولاً با بررسی توصیف سطح بالای کل طرح مورد نظر آغاز می‌شود و سپس، جداسازی بخشهای مختلف و اجزای یک معماری، که ساختار گذرگاهها را مدل کند، انجام می‌گیرد و در نهایت، واحدهای عملیاتی متفاوت معماری یادشده مشخص و پیاده‌سازی می‌شوند. در طراحی در سطح انتقال ثبات، طرح مدار مورد نظر به دو قسمت مسیر داده و کنترل افزاز می‌شود. قسمت مسیر داده شامل واحدهای عملیاتی و ساختار گذرگاههاست و قسمت کنترل معمولاً ماشین حالتی است که با صادر کردن سیگنالهای کنترلی عبور داده را از قسمت‌های مختلف مدار کنترل می‌کند [۵].

برای طراحی در سطح سیستم نیز به متدولوژی طراحی احساس نیاز می‌شود. با توجه به اینکه در این سطح ارتباطات بسیار پیچیده شده است، شاید بتوان گفت که کنترل عملکرد سیستم در طراحی ارتباطات سطح سیستم آمیخته شده است. با این حال، هنوز متدولوژی خاصی برای طراحی در سطح سیستم به وجود نیامده و فقط راهنماهایی برای چگونگی طراحی در این سطح ارائه شده است.

توصیف طراحی^۳

در هر سطح طراحی به روشی برای توصیف طرح مورد نظر نیاز است. این روشها در همه سطوح طراحی، به خصوص زمانی که سیستم‌ها پیچیده‌تر می‌شوند، مهم بوده‌اند. برای طراحی مدارهای دیجیتال در سطح انتزاعی ترانزیستور (سوئیچ) معمولاً از توصیف شماتیک یا توصیف لیست اتصالات در اچ‌اسپایس^۶ [۶]، که یکی از معروف‌ترین ابزارهای شبیه‌سازی مدارات مجتمع است، استفاده می‌شود. همچنین، زبان توصیف سخت‌افزاری وریلاگ^۷ [۷]، که عمدتاً برای توصیف سخت‌افزار در

-
1. State Machine
 2. Incorporate
 3. Design Description
 4. Schematic
 5. Netlist
 6. HSPICE
 7. Verilog

سطوح انتزاعی بالاتر استفاده می‌شود، قابلیت توصیف در سطح ترانزیستور را نیز به طراحان عرضه می‌کند.

در سالهای دهه ۱۹۸۰ روش توصیف شماتیک اصلی‌ترین روش مورد استفاده در طراحی مدارهای در سطح گیت به‌شمار می‌رفت. اگر چه از این روش مدلسازی در سطح گیت همچنان استفاده می‌شود، ولی بعد از پیدایش زبان توصیف سخت‌افزاری وریلاگ و زبان وی‌اچ‌دی‌ال^۱، این زبانها به‌طور معمول به‌عنوان زبان مدلسازی توصیف سخت‌افزار در سطح گیت معرفی و استفاده شدند. می‌توان گفت که در هر سطح طراحی زبانهایی ایجاد شدند که در واقع، نقطه ابتدایی رفتن به سطح بالاتر بودند. زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال در سطح طراحی گیت ظهور پیدا کردند، ولی در واقع، با نگاه به آینده و سطح طراحی پیچیده‌تر به‌وجود آمدند. این زبانها پایه‌ای برای به‌وجود آمدن سطح طراحی انتقال ثبات به‌شمار می‌روند.

در سطح انتقال ثبات زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال برای طراحی و توصیف مدار استفاده می‌شوند. این زبانها به‌خوبی در این سطح جا افتاده و پایه‌گذار به‌وجود آمدن ابزارهای خودکارسازی روند طراحی شده‌اند. در این سطح زبانهای دیگری نیز به‌وجود آمدند که با توجه به قدرت زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال نتوانستند توجه طراحان را به خود جلب کنند. در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی زبان سیستم‌سی ابداع شد. این زبان به‌عنوان روشی برای توصیف در سطح انتقال ثبات به‌وجود آمد، ولی می‌توان گفت که با توجه به سطح طراحی بعدی به‌وجود آمد. به مرور زمان با توجه به پایه سی‌پلاس‌پلاس آن، این زبان برای طراحی سطح بالاتر استفاده شد و با معرفی کتابخانه سیستم سی - تی‌ال‌ام برای طراحی ارتباطات سطح تراکنش، در واقع این زبان پایه‌ای برای طراحی در سطح انتزاع سیستم شد. سپس، در این استاندارد، زبان سیستم سی‌ای‌ام‌اس^۲ معرفی شد که با هدف یکپارچه‌سازی در روند طراحی سیستم‌های الکترونیکی به‌وجود آمد. می‌توان گفت که در سطوح پایین‌تر مسئله یکپارچه‌سازی آن‌قدر حیاتی نبود و در هر سطح طراحان به نحوی با آن کنار می‌آمدند. ولی در طراحیهای سطح سیستم، اجزای غیردیجیتالی سیستم‌ها بیشتر و پیچیده‌تر شده‌اند و بنابراین، به یک محیط یکپارچه برای طراحی در کنار هم نیاز است که زبان سیستم‌سی‌ای‌ام‌اس همین نقش را باید ایفا کند.

1. VHDL
2. SystemC- AMS

ابزارهای^۱ طراحی

ابزارهای طراحی در واقع، برنامه‌های کامپیوتری هستند که روند طراحی را آسان‌تر می‌کنند. همیشه برای تولید ابزارها به زبانهای توصیف سیستم نیاز است. در واقع، پایه و اساس ابزارهای طراحی زبانهای توصیف سخت‌افزار هستند. امروزه، ابزارهایی که برای طراحی سیستم‌های دیجیتال استفاده می‌شوند، ابزارهای شبیه‌ساز، سنتز، آزمون و عیب‌یابی هستند. شبیه‌سازی در واقع، آزمون مدلی است که با طراحی ایجاد شده است. شبیه‌سازی شامل ابزارهای تست‌بنچ^۲ است تا طراحان بتوانند مدل طراحی را به‌خوبی بیازمایند. همچنین، باید شامل یک‌سری اسرِشِن^۳ باشد که طراح خصوصیات مهم طراحی را چک کند و مطمئن شود که آنها در مدل طراحی شده لحاظ شده‌اند. همچنین، یک‌سری ابزار برای اندازه‌گیری پوشش داده‌های شبیه‌سازی وجود دارد که نشان می‌دهد چند درصد از طراحی در طی عملیات شبیه‌سازی آزمون شده است. ابزار مورد نیاز دیگر در روند طراحی سنتز است. سنتز در واقع، رفتن از یک سطح انتزاعی بالاتر به یک سطح انتزاعی پایین‌تر از آن است که این عملیات به‌صورت خودکار انجام می‌شود. ابزار سنتز شامل آنالیز طراحی، اتصال یا پیوند به کتابخانه هدف، آنالیز زمانی مدل سطح پایین به‌دست آمده و ... است. در سطوح پایین‌تر، مثل سطح ترانزیستور و سطح گیت، این ابزار شامل عملیات جایابی و مسیریابی هم می‌تواند باشد. ابزار مورد نیاز دیگر در روند طراحی آزمون است که به معنای آزمون سخت‌افزار یا تراشه واقعی است. در این ابزار تولید داده‌های آزمون، شبیه‌سازی آزمون، اضافه کردن اجزای آزمون به سیستم در حین طراحی مانند اضافه کردن زنجیره پویش، اندازه‌گیری قابلیت آزمون‌پذیری سیستم و ... انجام می‌پذیرد. عیب‌یابی ابزار دیگری است که در طراحی‌های امروزی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این ابزار طراحی به یک مدل میانی و صوری تبدیل می‌شود و چک کردن هم‌ارزی، تولید آزمون سطح بالا و ... از جمله کارهایی است که این ابزارها انجام می‌دهند.

اگر چه در حرکت به سمت سطوح انتزاعی بالاتر بسیاری از جزئیات سطح فیزیکی مدار حذف می‌شوند، ولی همچنان باید مواردی چون زمان‌بندی مدار، بهره‌وری از سطح سیلیکون و توان مصرفی

-
1. Tools
 2. Testbench
 3. Assertion
 4. Coverage
 5. Target Library
 6. Scan chain Insertion
 7. Physical Layer
 8. Silicon Utilization

مد نظر قرار گیرند و در ابزارهای طراحی و شبیه‌سازی تولید شده برای آن سطح لحاظ شوند. برای طراحیهای سطح گیت، در بسیاری از ابزارهای طراحی، امکان درستی‌یابی طرح بر اساس گیت‌های سازنده به طراح داده می‌شود. از سوی دیگر، برای تبدیل طراحی توصیف شده در سطح گیت به سطح پایین‌تر؛ یعنی سطح ترانزیستور نیز به ابزارهای سنتز نیاز داریم [۳]. اساس سنتز مدارهای منطقی دیجیتال در این سطح بر نمایش عملیات مدارات سوئیچینگ به وسیله جبر بولی باینری که در سال ۱۹۳۸ شانون آن را ارائه کرد [۷]، پایه‌ریزی شده است.

در طراحی در سطح انتقال ثبات، پس از افراز مدار و مشخص شدن هر یک از بخشها و واحدهای سازنده آن، توصیف قابل سنتز آن با یکی از زبانهای سخت‌افزاری وریلاگ یا وی‌اچ‌دی‌ال انجام می‌شود. طراحی در سطح انتقال ثبات اگرچه از مزیت چشمپوشی از بسیاری جزئیات و پیچیدگیهای سطوح پایین‌تر برخوردار است، ولی مصالحه بین پارامترهای مهم طراحی را نیز به همراه دارد. همچنین، طراحی در این سطح بالای انتزاعی به ابزارها و بسته‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مختلفی نیاز دارد که یاری‌رسان طراحان در امر مدل‌سازی و طراحی مدارها باشد. از سوی دیگر، همچون سطح گیت در اینجا نیز به ابزارهای مختلفی برای درستی‌یابی و همچنین، سنتز مدارات توصیف شده به سطوح انتزاعی پایین‌تر احتیاج است [۴].

اگر چه در سطح انتزاعی سیستم بیشتر از هر سطح دیگری از جزئیات پیاده‌سازی و زمان‌بندی دقیق سیستم صرف‌نظر می‌شود، ولی همچون سطوح دیگر انتزاعی طراحان سیستم در این سطح نیز به ابزارهایی برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی و همچنین، درستی‌یابی طرح سیستم نیاز دارند. از آن گذشته، در این سطح بیشتر از هر سطح دیگری لزوم پیدایش ابزارهایی برای سنتز و ترجمه خودکار توصیف‌های سطح بسیار بالای سیستم به سطوح پایین‌تر مانند سطح انتقال ثبات و گیت احساس می‌شود.

۵. یکپارچه سازی

در روند تکامل طراحی سیستم‌های الکترونیکی همواره مسئله یکپارچه‌سازی؛ یعنی کنار هم قرار دادن اجزای دیجیتالی و آنالوگی وجود داشته است. در سطوح طراحی پایین‌تر کنار هم قرار دادن اجزای دیجیتالی و آنالوگی مسئله یکپارچه‌سازی را مهم می‌کرد، ولی به مرور زمان نیاز به قرار گرفتن اجزای نرم‌افزاری و حتی اجزای مکانیکی هم در سطوح بالاتر به وجود آمد و با پیچیده‌تر شدن سیستم‌ها، مسئله طراحی یکپارچه مهم‌تر شد. در طراحی سطح ترانزیستور یکپارچه‌سازی آنالوگ و دیجیتال

وجود داشت، ولی آن قدر پیچیدگیها زیاد نبود که به مسئله بحرانی تبدیل شود. در طراحیهای سطح گیت اجزای آنالوگی و دیجیتالی وجود داشتند و به مرور زمان ماژولهای نرمافزاری نیز به این طراحیها نفوذ پیدا کردند و نیاز به یک محیطی برای طراحی یکپارچه سیستمها به وجود آمد. در این سطح نیز طراحی هر کدام از قسمتها به صورت جداگانه انجام و آزمون می شد و هنوز پیچیدگی آن قدر زیاد نشده بود که روند طراحی را با مشکل مواجه سازد.

در طراحیهای سطح انتقال ثبات اجزای نرمافزاری به صورت کامل وارد سیستمهای دیجیتالی شدند و یکپارچهسازی نقش مهمی در طراحی سیستمهای الکترونیکی پیدا کرد. پیچیدگی سیستمها موجب شد که نگرانی در باره این موضوع بیشتر شود و با طراحی زبانهای توصیف مدار الکترونیک سعی شد که به نحوی این نگرانی کمتر شود. بنابراین، زبانهای ورلاگ - ای ام اس^۱ و وی اچ دی ال - ای ام اس^۲ برای توصیف قسمت‌های آنالوگی و همچنین، پی ال آی^۳ و تیک - فارین^۴ برای اداره کردن قسمت‌های نرمافزاری در کنار زبانهای ورلاگ و وی اچ دی ال به وجود آمدند. این زبانها را کمیته طراحان قبول کردند، ولی آن قدر جا نیفتادند که به صورت گسترده استفاده شوند. در طراحی سطح سیستم، علاوه بر اجزای نرمافزاری، آنتنها و ماژولهای مکانیکی هم به سیستمها اضافه شدند و مسئله یکپارچهسازی مهمتر شد. در این سطح زبان سیستمسی به عنوان زبانی که پاسخگوی نیاز یکپارچهسازی است، معرفی شده است. در واقع، قسمت‌های نرمافزاری با استفاده از زبان سی پلاس پلاس، قسمت‌های دیجیتالی با استفاده از سیستمسی و قسمت‌های آنالوگی با استفاده از زبان سیستمسی ای ام اس به راحتی در یک محیط یکپارچه مدل می شوند. با این حال، هنوز یکپارچهسازی باید به صورت بنیادی مد نظر قرار گیرد تا طراح سیستم به راحتی از آن استفاده کند و به روند طراحی سرعت بخشیده شود.

۶. زبانهای توصیف سخت افزار

در قسمت قبل سیر تکاملی طراحی سیستمهای الکترونیکی بررسی و دیده شد که زبانهای توصیف سخت افزار نقش مهمی در این سیر دارند. زبانهای توصیف پایه و اساس به وجود آمدن متدولوژی در هر سطح طراحی هستند. برای اینکه راهنماهای به وجود آمده برای هر سطح طراحی به متدولوژی تبدیل شوند، به زبان توصیف سخت افزار قدرتمندی در آن سطح نیاز است. پایه و بنیان ابزارهای طراحی، زبانهای توصیف سخت افزار هستند. یکپارچهسازی با استفاده از این زبانها تسهیل می شود و می توان با استفاده از یک زبان قدرتمند، ماژولهای متفاوت را در کنار یکدیگر مدل کرد. علاوه بر این،

1. Verilog-AMS
2. VHDL-AMS
3. PLI
4. Foreign

گفته شد که به‌وجود آمدن سطوح طراحی جدیدتر با استفاده از زبانهای توصیف جامه عمل به خود می‌پوشاند و بدون آنها نمی‌توان این مسیر را طی کرد. در واقع، می‌توان گفت که یک مسیر دو طرفه بین زبانهای توصیف و سطوح انتزاعی وجود دارد؛ یعنی زبانها کمک کردند که یک سطح انتزاعی بالاتر ایجاد شود و از طرفی، به‌وجود آمدن سطح بالاتر سبب شد که زبانهای توصیف جدید به‌وجود آیند و زبانهای قبلی نیز کامل شوند.

می‌توان گفت که در سطوح ترانزیستور و گیت روشهای توصیف وجود داشتند، ولی روشهای توصیف به‌عنوان زبانهای توصیف از سطح انتقال ثبات و بعد از آن به صورت گسترده معرفی شدند. در واقع، در سطح انتقال ثبات بود که زبانها هم برای شبیه‌سازی و هم نمایش سیستم استفاده شدند. برای مثال، در سطح ترانزیستور اسپایس^۱ برای شبیه‌سازی و شماتیک^۲ برای نمایش سیستم استفاده می‌شد و یک روش نمایش واحد برای همه وظایف طراح وجود نداشت، ولی این نمایش واحد از سطح انتقال ثبات و با معرفی زبانهای توصیف شروع شد.

در ادامه تاریخچه زبانهای توصیف بیان و سپس، خصوصیتها و تواناییها و کمبودهای زبانهای توصیف سطح انتقال ثبات و سطح سیستم بررسی شده است.

۷. تاریخچه زبانهای توصیف سخت‌افزار

تاریخچه زبانهای توصیف سخت‌افزار به‌صورت کلی، در شکل ۳ نشان داده شده است. اولین زبان توصیف سخت‌افزار که در اواخر دهه ۱۹۶۰ به‌وجود آمد، زبان ای‌پی‌آل بود. این زبان کاراکترهای عجیب و نامأنوس و کی‌بوردهای خاص خود را داشت. در اوایل دهه ۱۹۷۰، بر اساس این زبان، زبانی به نام ای‌اچ‌پی‌آل معرفی شد. در واقع، این زبان برای توضیح سخت‌افزار ارائه شده بود و فکر طراحی در سطح انتقال ثبات نیز در آن وجود داشت. در اوایل این زبان به‌عنوان یک روش نمادگذاری استفاده می‌شد تا طراح به جای کشیدن ثباتها و مدارهای ترکیبی از نمادها برای توضیح آنها و ارتباط بین آنها استفاده کند. به مرور زمان این زبان رشد پیدا کرد و برای توصیف سخت‌افزار و مدلسازی استفاده شد. در همین دوران زبانهای دیگری مانند سی‌دی‌آل^۵ و دی‌دی‌آل هم به‌وجود آمدند.

-
1. SPICE
 2. Schematic
 3. A Program Language by IBM (APL)
 4. A Hardware Program Language (AHPL)
 5. Computer Design Language (CDL)
 6. Digital Design Language (DDL)

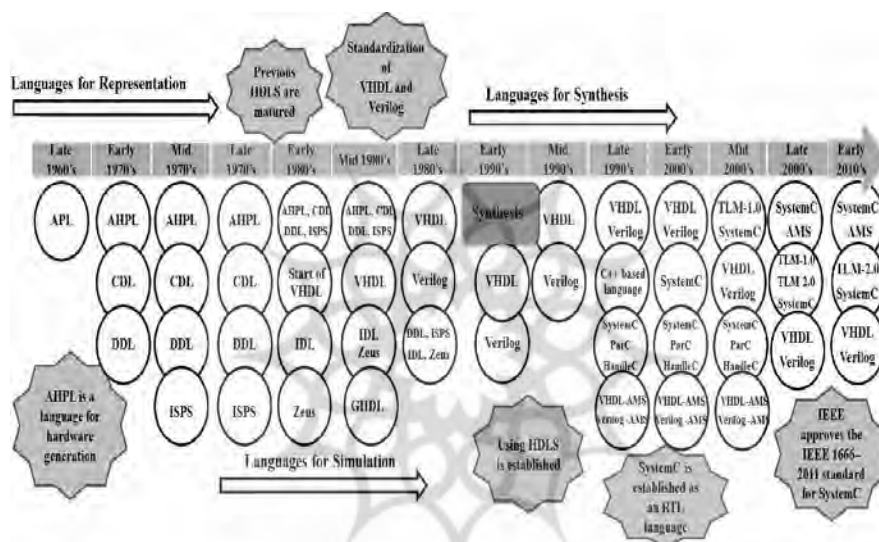
در اواسط این دهه زبان آی‌اس‌پی‌اس^۱ نیز به این زبانها اضافه شد. این زبان در حقیقت، در یک سطح بالاتر به وجود آمده بود و می‌توان گفت که یک زبان خاص منظوره برای توصیف یک پردازنده بود. در حالی که سایر زبانها برای توصیف سیستم‌های عام منظوره استفاده می‌شدند. در اواخر دهه ۱۹۷۰ این زبانها به بلوغ رسیدند. در همین زمان یک گروه از به‌وجود آورندگان این زبانها به همراه دو ریاضیدان فرانسوی و آلمانی تشکیل شد. هدف این گروه به وجود آوردن زبانی برای توصیف اجزای دیجیتال، آنالوگی، نرم‌افزاری، مکانیکی و ... در کنار هم بود. این گروه زبانی به نام کان‌لن^۳ را معرفی کردند، ولی این زبان از اقبال عمومی برخوردار نشد. در واقع، آنها بیست سال زودتر به چیزی فکر کردند که زمان تولدش نبود و بنابراین، به نتیجه نرسید.

در اوایل دهه ۱۹۸۰ یک‌سری زبانهای دیگر بر اساس زبانهای موجود ظهور کردند. زبانهایی مثل ژئوس^۴ و آی‌دی‌ال^۵ از جمله این زبانها بودند که موجب شدند به سمت طراحی در سطح انتقال ثبات گام برداشته شود. در همین دهه وی‌اچ‌دی‌ال معرفی شد و زبانهای قبلی نیز همچنان وجود داشتند. در اواسط این دهه وی‌اچ‌دی‌ال رشد بیشتری پیدا کرد و مورد توجه طراحان قرار گرفت و بیش از سایر زبانها استفاده می‌شد. در اواخر این دهه زبان وریلاگ با پشتیبانی شرکتهای تجاری به‌عنوان یک زبان برای توصیف سخت‌افزار به عرصه طراحی سیستم‌های دیجیتال وارد شد. سازمان آی‌تری‌پل‌ای^۶ این زبان را به‌عنوان زبان استاندارد طراحی سخت‌افزار معرفی کرد و سبب رشد این زبان شد. در همین دوران زبان وی‌اچ‌دی‌ال نیز به استاندارد آی‌تری‌پل‌ای تبدیل شد.

تا اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی زبانهای توصیف سخت‌افزار بیشتر برای مستندسازی و شبیه‌سازی استفاده می‌شدند، ولی در دهه ۱۹۹۰ سنتز واقعی اتفاق افتاد. طراحیهای توصیف شده با زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال با استفاده از ابزار خودکار سنتز به‌راحتی به طراحی در سطح گیت تبدیل شدند و این مسئله موجب رشد زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال در طراحیهای سطح انتقال ثبات شد. اواسط دهه ۱۹۹۰ زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال مورد قبول طراحان سیستمهای دیجیتال قرار گرفتند و متدولوژی طراحی افراز مسیر داده - کنترل نهادینه شد. در این زمان ابزارهای سنتز نیز به مرحله بلوغ رسیدند. در اواخر این دهه به‌دلیل پیچیدگی سیستم‌ها شبیه‌سازیها کند و بحث درستی‌یابی

1. Instruction Set Processor Simulator (ISPS)
2. General Purpose
3. CONLAN
4. Zeus
5. IDL
6. IEEE
7. Documentation

طراحیها مطرح شد. علاوه بر این، در این دوره زبانهایی بر پایه سی پلاس پلاس ظهور کردند. در واقع، حرکت به سمت سطح انتزاعی بالاتر شروع شد و زبانهایی مثل پرسی^۱، هندل سی^۲ و سیستم سی به دنیای طراحی سیستم‌های دیجیتال وارد شدند. اساس همه این زبانها طراحی در سطح انتقال ثبات بود، ولی در حقیقت نقطه پرواز به سمت سطح انتزاع بعدی بودند. در همین دوران مسئله مدلسازی اجزای غیردیجیتالی هم مطرح و مسئله یکپارچه‌سازی باعث به‌وجود آمدن زبانهای ورپلاگ - ای‌ام‌اس و وی‌اچ‌دی‌ال - ای‌ام‌اس شد.



شکل ۳: تاریخچه بوجود آمدن زبانهای توصیف سخت افزار [نگارنده]

در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی پیچیدگی سیستم‌ها طراحیها را به سمت سطح انتزاع سیستم سوق داد. سیستم‌سی جایگاه خودش را پیدا کرد و زبانهای دیگر به مرور زمان از بین رفتند. در اواسط این دهه سطح انتزاع سیستم به‌صورت جدی مطرح شد. نسخه اولیه کتابخانه سیستم‌سی - تی‌ال‌ام به‌وجود آمد. در این سطح از طراحی، ارتباطات به جای گذرگاههای بر مبنای کلمه، بلوکی از داده‌ها را ارسال می‌کنند، ولی مکانیزمهای دست‌دهی همچنان در آنها وجود دارد. در اواخر این دهه نسخه دوم

1. PARC
2. HandleC
3. Handshaking

زین العابدین نوابی شیرازی و سمیه صادقی کهن ۱۳۳

کتابخانه سیستم‌سی - تی‌ال‌ام معرفی شد که در آن ارتباطات خیلی ساده و تراکنشی انجام می‌شد. همچنین، در این دوران زبان سیستم‌سی ای‌ام‌اس برای نیازهای یکپارچه‌سازی ظهور کرد. در اوایل دهه ۲۰۱۰ میلادی سیستم‌سی و مشتقاتش به صورت استاندارد آی‌تری‌پل‌ای معرفی شدند و طراحی در سطح سیستم را به صورت کامل معرفی کردند.

۸. خصوصیت‌های زبانهای سطح انتقال ثبات امروزی

همان‌طور که گفته شد، زبانهای توصیف سخت‌افزار در سطح انتقال ثبات نمود پیدا کردند. طول دوره شروع تا کامل و بالغ شدن این زبانها از اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی تا اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی است. در حال حاضر، یک متدولوژی کاملاً تعریف شده و مشخص برای این سطح وجود دارد. با کامل شدن این زبانها ابزارهایی مثل تولید تست‌بنچ، تولید داده‌های تست و سنتز با در نظر گرفتن میزان آزمون‌پذیری به خوبی ارائه شدند و به بازار آمدند. همچنین، درستی‌یابی بر اساس آسرسین‌ها به خوبی جای خود را پیدا کرد و سازکار آسانی برای درستی‌سنجی طراحیها ارائه کرد. با اینکه این زبانها به سطح بلوغ کاملی رسیده‌اند، ولی در این سطح از طراحی، مدل خرابی کامل و مشخصی برای آزمون سیستم به وجود نیامد و می‌توان گفت که دلیل آن به بالغ نشدن فرایند آزمون در این سطح از طراحی بر می‌گردد. همچنین، در این زبانها مشکلات یکپارچه‌سازی همچنان وجود دارد و محدودیت ارتباط با اجزای نرم‌افزاری یا حتی اجزای آنالوگی هنوز وجود دارد.

۹. خصوصیت‌های زبانهای سطح سیستم امروزی

زبانهای توصیف سطح سیستم از اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی ظهور کردند و هنوز هم کاربرد دارند. این زبانها عمدتاً بر پایه زبان سی‌پلاس‌پلاس هستند [زبانهای دیگری نیز وجود داشتند که خیلی مورد توجه قرار نگرفتند و از بین رفتند]. محیط استفاده شده در زبانهای سطح سیستم طراحی مدلهای دیجیتال را در کنار مدلهای نرم‌افزاری فراهم می‌کند. همچنین، با استفاده از زبان سیستم‌سی ای‌ام‌اس توانایی طراحی اجزای آنالوگی و غیر دیجیتالی و کنترلی را در کنار سایر اجزای سیستم ایجاد کرده است. زبان سیستم‌سی و مشتقاتش توانسته‌اند ارتباطات خلاصه و تراکنشی را تعریف کنند که البته، هنوز به مرحله بلوغ نرسیده است و کمبودهایی دارد و باید برای آن وقت و توان گذاشته شود. در بعضی موارد می‌توان گفت که زبانهای سطح سیستم بهتر از زبانهای سطح انتقال ثبات عمل می‌کنند و این نشان می‌دهد که پدیدآورندگان این زبانها به سیر تکاملی طراحی سیستم‌های دیجیتال

نگاهی داشته و سعی کرده‌اند که کمبودها و مشکلات زبانهای سطح پایین‌تر را در همان مراحل اولیه در نظر بگیرند. برای مثال، در خصوص مسئله یکپارچه‌سازی این زبانها بهتر عمل و در باره آن فکر شده است تا یک محیط یکسان برای طراحی اجزای مختلف سیستم به وجود آید.

۱۰. ارائه راهکارهایی برای همگام شدن با سیر تکامل طراحی سیستم‌های الکترونیکی

در دو قسمت قبل سیر تکاملی طراحی سیستم‌های الکترونیکی و تاریخچه زبانهای توصیف سخت‌افزار که در این سیر تکاملی نقش ایفا می‌کنند، بررسی شد. مسئله آشکار این است که سطح طراحی سیستم جدیدترین سطح طراحی‌ای است که در حال گسترش است و هنوز به مرحله بلوغ نرسیده است و فضای خالی برای رشد و کار در آن وجود دارد. بنابراین، لازم است در سطح کشور به این مسئله اهمیت داده شود و با ارائه راهکارها و تمهیداتی، همگام با سایر کشورهای پیشرفته دنیا، با آن حرکت کرد و بتوان در رشد و کمال آن تأثیر داشت و صاحب‌نظر بود و همراه با رشد آن، در صنعت میکروالکترونیک کشور جهش و پیشرفت ایجاد کرد. در ادامه راهکارهایی در سه مقوله صنعت، پژوهش و آموزش ارائه شده است.

• راهکارهایی در صنعت

اینرسی موجود در سرشت آدمی همواره استفاده از شیوه‌ها و راهکارهای نوین را با چالش مواجه می‌کند. طبیعی است که ایجاد پایگاهی جدید در مقابل روشهای سنتی و قدیمی که به نسبت خود هم بسیار خوب پاسخگوی مشکلات هستند، همیشه با مخالفت همراه است، ولی برای همگام شدن با سیر پیشرفت فناوری چاره‌ای جز این وجود ندارد. همواره نخستین گامهای حرکت در جهت مسیر جدید محکم نیست و نیازمند پشتیبانی گروهی برای عبور از این مرحله است.

همان‌طور که گفته شد، زبانهای توصیف سخت‌افزار پایه و اساس رشد سطح انتزاعی طراحی هستند. در طراحی سطح سیستم، زبان سیستم‌سی به‌عنوان زبان قابل قبول برای طراحی ارائه شده است و بنابراین، در صنعت باید از آن برای مدلسازی طراحی استفاده کرد. وقتی صنعت آماده طراحی در سطح سیستم نیست، چه راهکاری باید اندیشیده شود؟ بهترین گام این است که ابتدا از زبان توصیف سیستم‌سی برای طراحی در سطح انتقال ثبات استفاده شود؛ یعنی ابتدا باید جایگاه سیستم‌سی در طراحی سطح انتقال ثبات محکم شود و سپس، سراغ مرحله بعد رفت که در حقیقت، استفاده از سیستم‌سی - تی‌ال‌ام برای ارتباطات خلاصه و تراکنشی و سیستم‌سی ای‌ام‌اس برای طراحیهای ترکیبی آنالوگ و دیجیتال است. حتی شاید لازم باشد در بعضی موارد ابتدا متدولوژی طراحی در سطح انتقال ثبات به‌صورت کامل نهادینه شود و بعد به سراغ استفاده از سیستم‌سی در

سطح انتقال ثبات رفت. در واقع، ممکن است در بسیاری از جاها هنوز سطح انتقال ثبات نهادینه نشده باشد و تلاش برای گسترش طراحی در سطح سیستم به شکست بینجامد. بنابراین، ایجاد پیش زمینه کافی در زمینه طراحی در سطح انتقال ثبات از ملزومات راه است. علاوه بر موارد یادشده، باید توجه داشت که زبان سیستم سی بر پایه زبان سی پلاس پلاس بنا شده است و در بعضی موارد به راحتی زبانهای توصیف سطح انتقال ثبات قابل استفاده نیست. طراحی با زبان سیستم سی احتیاج به یک فهمی از زبان سی پلاس پلاس دارد. بنابراین، اگر بخواهیم به خوبی از آن استفاده شود، باید به خوبی فرا گرفته شود و نیاز به این دارد که از خصوصیتها و تواناییهای این زبان درک صحیحی وجود داشته باشد و مفاهیم پایه‌ای آن به طراح سیستم‌های دیجیتال آموزش داده شود.

• راهکارهایی برای مطالعه و پژوهش

در زمینه پژوهش بیشترین فعالیتی که محققان داخلی می‌توانند داشته باشند، در جهت ابزار طراحی است. زمینه تحقیقاتی سنتز خودکار طراحیهای سطح سیستم به طراحی در سطح انتقال ثبات مؤثرترین گام در جهت رشد طراحی در سطح سیستم است. در این زمینه در دو جهت می‌توان کار را جلو برد: سنتز ارتباطات تراکنشی به گذرگاههای استاندارد سطح انتقال ثبات و همچنین، سنتز عناصر پردازشی سیستم به ماژولهای طراحی شده در سطح انتقال ثبات. در هر دو جهت فضاهای خوبی برای مطالعه و پژوهش وجود دارد و می‌توان با ارائه روشهای خوب و مفید به تولید ابزار سنتز در داخل کشور اقدام کرد.

ارائه روشهایی برای درستی‌یابی طراحیهای سطح سیستم یکی دیگر از زمینه‌های پژوهشی مفید در طراحی سطح سیستم است. با توجه به پیچیدگی طراحیها و مهم بودن زمان عرضه به بازار، این زمینه تحقیقاتی می‌تواند به روند رو به رشد استفاده از طراحی در سطح سیستم کمک کند. در بحث آزمون پذیری، آنالیز قابلیت آزمون یک سیستم، اضافه کردن مکانیزمهای تست به سیستم در حین طراحی در سطح سیستم می‌تواند زمینه تحقیقاتی جالب و تأثیرگذاری باشد. تصمیم‌گیری در باره مصرف توان در طراحیهای سطح سیستم، طراحیهای ترکیبی اجزای دیجیتالی و آنالوگی و نرم‌افزاری و جست‌وجوی فضای طراحی از دیگر زمینه‌های تحقیقاتی است که امروزه، در طراحیهای سطح سیستم بررسی شده و هنوز راه‌حل بهینه و مطلوبی برای آنها پیدا نشده است. محققان کشور می‌توانند با تحقیق در این زمینه‌ها به رشد این سطح از طراحی کمک کنند و موجب

شوند کشور در این عرصه صاحب‌نظر شود و نیز آنها به تولید ابزارهای طراحی در داخل کشور کمک کنند تا بتوان به سمت تجاری شدن محصولات پیش رفت.

• راهکارهایی برای آموزش

بحث ورود به طراحی در سطح سیستم در برنامه آموزشی دانشجویان مهندسی برق و کامپیوتر از دو جهت باید مد نظر قرار گیرد: ۱. بحث طراحی اجزای دیجیتالی سیستم است. آموزش طراحی در سطح انتقال ثبات باید در همان سالهای اول ورود دانشجویان مد نظر قرار بگیرد و به دانشجویان آموزش داده شود که ماژولهای سیستم‌های دیجیتال از سطح ترانزیستور و گیت بالاتر آمده است. باید مطمئن بود که دانشجویان مهندسی برق و کامپیوتر در سالهای سوم و چهارم طراحی در سطح انتقال ثبات را به‌صورت کامل فرا گرفته‌اند. همچنین، لازم است آنها حداقل در یکی از زبانهای وریلاگ و وی‌اچ‌دی‌ال مهارت کسب کرده باشند. در سالهای سوم و چهارم دانشجویان باید با سیستم‌های دیجیتال آشنا شوند، پیچیدگی آنها نشان داده شود و طراحی در سطح سیستم وارد برنامه آموزشی شود.

۲. باید برای مدلسازی در سطح سیستم و یکپارچه‌سازی برنامه‌های آموزشی ارائه شود. جنبه‌های مختلف زبان سیستم‌سی آموزش داده شود و توانایی زبانهای مشتق شده از آن در مدلسازی درسهای پایه مهندسی برق مانند مدار الکتریکی و مدار الکترونیکی، سیستم‌های کنترل و پردازش سیگنال نشان داده شود. باید در این درسها از مدلسازیهای سیستم‌سی استفاده شود تا دانشجویان با تواناییهای زبانهای طراحی در سطح سیستم آشنا شوند. علاوه بر آموزش زبانهای توصیف سخت افزار در دو سطح انتقال ثبات و سطح سیستم، باید مبانی پایه‌ای زبان سی‌پلاس‌پلاس به دانشجویان مهندسی برق آموزش داده شود تا زبانهای توصیف سطح سیستم به آسانی قابل هضم باشد.

در برنامه آموزشی درسی باید طراحی سیستم‌های نهفته نیز گنجانده شود. لازم است دانشجویان به این درک برسند که سیستم‌ها فقط از اجزای دیجیتالی و نرم‌افزاری تشکیل نشده‌اند و اجزای آنالوگی و کنترلی و مکانیکی نیز در کنار آنها قرار می‌گیرد و بنابراین، نیاز به طراحی در یک محیط یکپارچه داریم.

۱۱. دانشگاه تهران و طراحی سیستم‌های الکترونیک

شاید بتوان گفت دانشگاه تهران در زمینه طراحی سیستم‌های الکترونیکی در بین دانشگاههای کشور همواره پیشرو بوده است. همواره در این بیست سال اخیر دانشجویان در سال دوم تحصیلی با روند طراحی در سطح انتقال ثبات آشنا می‌شوند و مهارت لازم را در آن کسب می‌کنند و سپس، در

سالهای سوم و چهارم در درسهای دیگر از این مهارت استفاده می‌کنند. در جهت همگام شدن با روند رو به رشد سیستم‌های دیجیتال، گرایش سیستم‌های دیجیتال در گروه الکترونیک این سیستم به‌وجود آمده است. تمرکز این گرایش بر سیستم‌های ترکیبی است. دانشجو در کنار دیجیتال باید با آنالوگ، سیستم‌های کنترلی و پردازش سیگنال آشنا شود و بتواند آنها را در یک محیط یکپارچه طراحی کند. برای آموزش زبان سی‌پلاس‌پلاس درسی با عنوان مدلسازی شی‌گرای مدارهای الکترونیکی ارائه شده است که در آن دانشجویان با این زبان و چگونگی مدلسازی مدارهای دیجیتالی و الکترونیکی و پس از آن، با زبان سیستم‌سی و سیستم‌سی‌ای‌ام‌اس آشنا می‌شوند و از آنها برای طراحی سیستم‌های آنالوگ - دیجیتال استفاده می‌کنند.

بررسی روشهای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های دیجیتال از زمینه‌های پژوهشی گروه کد (CAD) دانشگاه تهران است. این گروه با سابقه پژوهشی بسیار خوب در دو دهه اخیر، همگام با سیر تکاملی طراحی سیستم‌های دیجیتال، گام برداشته است. این گروه در سطح طراحی انتقال ثبات، با انجام دادن پژوهشهایی در زمینه ابزار طراحی، محیط شبیه‌سازی یکپارچه، ابزار درستی‌یابی و آزمون چهره شناخته شده و صاحب‌نظر در دنیا هستند. با حرکت به سوی طراحی در سطح سیستم، پژوهشهای محققان این گروه به سمت بررسی زبانهای توصیف طراحی در سطح سیستم، تطبیق‌پذیری با استانداردهای ارائه شده در این سطح، تحقیق و مطالعه و ایجاد نرم‌افزارهایی در جهت درستی‌یابی، سنتز و آزمون طراحیهای سطح سیستم بوده است. گروه کد دانشگاه تهران با پشتوانه قوی علمی و تحقیقات هدفمند و مؤثر در سطوح مختلف طراحی، به‌خصوص طراحی در سطح سیستم، شرکت در همایشهای معتبر بین‌المللی و ارتباط با گروههای تحقیقاتی در اروپا و آمریکا، از اعتبار زیادی در بین محققان دنیا برخوردار است و به‌عنوان صاحب‌نظر و ایده پرداز در این زمینه شناخته می‌شود.

برای پیشرفت کشور در زمینه طراحی سیستم‌های دیجیتال، گروه کد دانشگاه تهران با همکاری ستاد میکروالکترونیک به راه‌اندازی مرکز پیشبرد و توسعه فناوری طراحی سطح سیستم اقدام کرده است. این مرکز چهار هدف اصلی زیر را مد نظر دارد:

- زمینه‌سازی لازم برای توسعه و پیشبرد فناوری طراحی سطح سیستم در دانشگاهها و مراکز صنعتی؛
- تربیت نیروی متخصص و فراهم کردن ابزار لازم در زمینه‌های مختلف فناوری طراحی سطح سیستم؛
- پژوهش در بخشهای نوین این فناوری به‌منظور ارائه به مجامع علمی معتبر داخلی و خارجی؛
- ایفای نقش بازوی علمی و تخصصی ستاد میکروالکترونیک در فناوری طراحی سطح سیستم.

در ادامه دو هدف اصلی این مرکز و همچنین، راهبردها و برنامه‌های کوتاه و بلندمدت مرکز برای نیل به این اهداف تشریح شده است.

• زمینه‌سازی

فناوری طراحی مدارهای الکترونیکی در سطح سیستم یا طراحی سطح سیستم هم اکنون در سالهای ابتدایی عمر خویش است و فراگیر شدن آن نیازمند زمینه‌سازی مناسب، ابتدا در محیطهای دانشگاهی و سپس در محیطهای صنعتی، است. جایگزین کردن این شیوه جدید طراحی به جای روشهای سنتی موجود نه تنها ابزار خاص خود را طلب می‌کند، بلکه نیازمند تغییر نگاه مهندسان الکترونیک و سخت‌افزار در طراحی مدارهای دیجیتال است.

مرکز پیشبرد و توسعه طراحی سطح سیستم در این خصوص، زمینه آشنایی گروههای مختلف را با استفاده از برگزاری کارگاههای آموزشی مناسب، تهیه بسته‌های آموزشی، برگزاری جلسات سخنرانی و دعوت از صاحب‌نظران این فناوری، برگزاری دوره‌های آموزشی و ... فراهم می‌آورد. بدیهی است که این فرایند از گروههای تخصصی شروع می‌شود و سپس، در دانشگاهها ادامه می‌یابد و در ادامه بخش صنعت را نیز مد نظر قرار می‌دهد.

ابزارها و دیگر ملزومات مورد نیاز برای فرهنگ سازی مورد نظر نیز در این مرکز تولید می‌شود و به‌صورت مناسب در اختیار گروههای هدف قرار می‌گیرد.

• تربیت و آموزش نیروی متخصص

مرکز پیشبرد و توسعه فناوری طراحی سطح سیستم تربیت و آموزش نیروی ماهر و متخصص در این زمینه را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیتهای خود در نظر می‌گیرد. این مرکز می‌تواند با برگزاری و ارائه دوره‌های تخصصی در زمینه‌های مختلف طراحی سطح سیستم ساز نهادینه شدن دانش طراحی سطح سیستم در بخشهای مختلف دانشگاهی، اعم از آموزشی و پژوهشی، باشد. در خصوص تربیت نیروی ماهر، این مرکز وظایف زیر را به عهده دارد:

- برگزاری کلاسهای آموزشی در زمینه‌های مختلف طراحی سطح سیستم با بهره‌گیری از استادان و دانشجویان مجرب؛
- ارائه ویدیوهای مناسب برای آموزش مقدماتی و پیشرفته مفاهیم طراحی سطح سیستم برای مهندسان الکترونیک و سخت‌افزار؛
- تهیه و آماده‌سازی بسته‌های آموزشی - یادگیری برای استفاده دانشجویان، محققان و اعضای

- هیئت علمی دانشگاهها شامل اسلاید، جزوه، ویدیو، ابزار، دفترچه راهنما و ... ؛
- تهیه و آماده‌سازی بسته‌های آموزشی - یادگیری مورد نیاز صنعت؛
 - برگزاری کارگاههای آموزشی کوتاه مدت بنا به درخواست دانشگاه و صنعت؛
 - ارائه ابزارهای لازم و مقدماتی برای انتقال مفاهیم مورد نظر مرکز؛
 - آماده‌سازی مطالب به‌روز در زمینه‌های مختلف با پیشنهاد مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی کشور؛
 - برگزاری جلسات هم‌اندیشی در خصوص ارتقای سطح علمی و مهارت نیروهای علمی بالقوه دانشگاهها؛
 - ایجاد ساختارهای لازم در دانشگاههای مستقر در شهرستانها برای همگام کردن فعالیت این دانشگاهها با فعالیتهای مرکز؛
 - فراهم کردن زمینه‌ای برای ارائه مدل‌های مورد نیاز مدارهای پرکاربرد الکترونیکی با توجه به نیاز دانشگاهها و صنعت؛
 - تهیه و طراحی مدل‌های مورد نیاز و هسته‌های پیش ساخته‌ها در سطوح مختلف طراحی برای استفاده دانشجویان، مراکز پژوهشی، مراکز آموزشی و صنعت.

۱۲. جمع‌بندی

در این مقاله سیر تکامل روشهای طراحی سیستم‌های الکترونیکی بررسی شد. نقش و اثر زبانهای توصیف سخت‌افزار در این سیر تکاملی نشان داده و بیان شد که همواره از ملزومات اصلی نهادینه شدن سطوح طراحی مدارهای الکترونیکی این زبانها هستند. امروزه، طراحیها به سمت طراحی در سطح سیستم سوق داده شده‌اند و بنابراین، در این مقاله راهکارهایی برای رشد طراحی سطح سیستم در کشور ارائه شد. راهکارهای ارائه شده سه مقوله صنعت، آموزش و پژوهش را در بر می‌گیرد. در انتها روشها و پژوهشهایی که در دانشگاه تهران در زمینه طراحی مدارهای الکترونیکی به کار برده شده است، بررسی شد.

مراجع

1. <http://userweb.eng.gla.ac.uk/douglas.paul/SiGe/Moore.html>
2. Navabi, Z. (2007), *VHDL: Modular design and synthesis of cores and systems*, 3rd ed., McGraw-Hill.
3. Navabi, Z. (2006), *Embedded core design with FPGAs*, 1st ed., McGraw-Hill.
4. Alemzadeh, H. (2008), TLM1.0 Communication Testing, M.S. Thesis, ECE Dept., University, of Tehran, Tehran.
5. Navabi, Z. (2006), *Verilog digital system design: RT level synthesis, Test bench and Verification*, 2nd ed., McGraw-Hill.
6. "HSPICE: The Gold Standard for Circuit Simulation datasheet, [Online Document], Available at: http://www.synopsys.com/products/mixedsignal/hspice/hspice_ds.pdf, Retrieved on January 2010.
7. IEEE Std 1364-2005, IEEE Standard for Verilog Hardware Description Language, IEEE, 2005. AMBA 2 AHB(TM) Specification (Rev 2.0), ARM IHI 0011A, 1999.

