



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA



Module : Simulation des composants semiconducteurs

LES LANGAGES DE DESCRIPTION DES SYSTÈMES MIXTES

**En vue d'un enseignement hybride au profit des étudiants
de 2^{ème} année Master, Spécialité : Microélectronique**

Responsable du module: Dr. Moufdi HADJAB

Année universitaire: 2023/2024

PLAN DE COURS



1. PREFACE



2. SIMULATION DES SIGNAUX ANALOGIQUES-NUMÉRIQUES



3. LANGAGES DE MODÉLISATION NUMÉRIQUES



4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

1. INTRODUCTION

□ La **simulation** devient une tâche fondamentale dans le domaine de conception des circuits intégrés **VLSI (Very Large Scale Integration)** en tant qu'outil de validation des choix du concepteur. En plus, elle doit être la plus rapide et la plus fiable possible pour des raisons de compétitivité. On distingue généralement trois types de simulation:

□ أصبحت المحاكاة مهمة أساسية في مجال تصميم الدوائر المتكاملة (التكامل واسع النطاق جداً) كأداة للتحقق من صحة اختيارات المصمم. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تكون سريعة وموثوقة قدر الإمكان لأسباب تتعلق بالقدرة التنافسية. هناك بشكل عام ثلاثة أنواع من المحاكاة:

□ **La simulation électrique analogique:** analyse des signaux continus dans le temps pour évaluer les performances électriques des circuits. Elle nécessite une précision élevée, et le temps de simulation peut devenir critique pour les circuits complexes. Les modèles comportementaux analogiques sont représentés par des équations différentielles simplifiées, des fonctions mathématiques non-linéaires ou linéaires par morceaux, ou des tables de données.

□ المحاكاة الكهربائية التناظرية: تحليل الإشارات المستمرة مع مرور الوقت لتقييم الأداء الكهربائي للدوائر. فهو يتطلب دقة عالية، وقد يصبح وقت المحاكاة بالغ الأهمية بالنسبة للدوائر المعقدة. يتم تمثيل النماذج السلوكية التناظرية بمعادلات تفاضلية مبسطة، أو دوال رياضية خطية غير خطية أو متعددة التعريف، أو جداول البيانات.

□ **La simulation numérique (digitale):** elle est couramment utilisée pour les circuits digitaux VLSI. Les signaux manipulés ne sont plus électriques mais abstraits: des bits définis par des états logiques (0/1/ indéterminé) ou des mots de bits ou même des fichiers de données peuvent être transmis entre modèles.

□ المحاكاة الرقمية: تستخدم بشكل شائع في دوائر VLSI الرقمية. لم تعد الإشارات التي يتم التحكم فيها كهربائية بل مجردة: يمكن نقل البتات المحددة بواسطة الحالات المنطقية (0/1/غير محددة) أو كلمات البت أو حتى ملفات البيانات بين النماذج.

SIMULATION ANALOGIQUES DES CIRCUITS ÉLECTRONIQUES

- ❑ **La simulation mixte (analogique-digitale):** elle permet d'étudier le comportement temporel de systèmes complexes en un temps extrêmement réduit par rapport à une simulation uniquement électrique. Ce type de simulation est en effet basé sur l'abstraction de la partie digitale à un niveau fonctionnel logique. Pour cette partie, les grandeurs étudiées ne sont donc plus électriques mais numériques et sont caractérisées par leurs changements d'état.
- ❑ Des algorithmes dirigés par événements (event-driven) permettent d'étudier de manière très efficace l'évolution des signaux digitaux.

- ❑ المحاكاة المختلطة (التناظرية الرقمية): تتيح دراسة السلوك الزمني للأنظمة المعقدة في وقت قصير للغاية مقارنة بالمحاكاة الكهربائية البحتة. يعتمد هذا النوع من المحاكاة في الواقع على تجريد الجزء الرقمي على المستوى الوظيفي المنطقي. ولهذا الجزء فإن الكميات المدروسة لم تعد كهربائية بل رقمية وتتميز بتغير حالتها.
- ❑ تتيح الخوارزميات المبنية على الأحداث إمكانية دراسة تطور الإشارات الرقمية بكفاءة عالية.

2. SIMULATION DES SIGNAUX ANALOGIQUES-NUMÉRIQUES

- ❑ Le logiciel **PSPICE** représente un simulateur complet pour la conception analogique.
- ❑ Du fait de ses modèles internes et ses bibliothèques largement rependues et développées, tous les systèmes de haute fréquence jusqu'aux circuits intégrés de basse puissance peuvent être simulés. Dans sa bibliothèque, des modèles peuvent être édités et/ou des modèles de nouveaux dispositifs peuvent être créés à partir des fiches techniques.

❑ يمثل برنامج PSPICE محاكاة كاملة للتصميم التناظري.
❑ نظراً لنماذجه ومكتباته الداخلية المستخدمة والمطورة على نطاق واسع، يمكن محاكاة جميع الأنظمة عالية التردد حتى الدوائر المتكاملة منخفضة الطاقة. في مكتبته، يمكن تحرير النماذج و/أو إنشاء نماذج للأجهزة الجديدة من أوراق البيانات الفنية.

2. SIMULATION DES SIGNAUX ANALOGIQUES-NUMÉRIQUES

- La version plus élaborée de PSPICE dite: « **PSPICE A/D Basics** » est un simulateur de signaux mixtes pouvant être employée pour simuler des systèmes contenant des parties analogiques et des éléments numériques sans limite théorique de la taille. Cependant, quand il s'agit de grands systèmes, les simulations deviennent trop lourdes et demandent un temps d'exécution exagéré.

□ الإصدار الأكثر تطوراً من PSPICE يُسمى: "PSPICE A/D Basics" وهو عبارة عن محاكي إشارة مختلط يمكن استخدامه لمحاكاة الأنظمة التي تحتوي على أجزاء تناظرية وعناصر رقمية بدون حدود نظرية للحجم. ومع ذلك، عندما يتعلق الأمر بالأنظمة الكبيرة، تصبح عمليات المحاكاة ثقيلة جداً وتتطلب وقتاً طويلاً للتنفيذ.

2. SIMULATION DES SIGNAUX ANALOGIQUES-NUMÉRIQUES

- ❑ Par conséquent, les exigences de la technologie et du marché ont imposé le développement d'outils plus vigoureux capables de traiter simultanément les domaines analogiques et numériques.
- ❑ Ce besoin a entraîné depuis la fin des années 90, l'apparition de langages de description matérielle de systèmes à signaux mixtes MSHDLs (Mixed Signals Hardware Description Languages). Ces types de langages offrent un grand intérêt dans une approche de conception système.

❑ ولذلك، فقد فرضت متطلبات التكنولوجيا والسوق تطوير أدوات أكثر قوة قادرة على معالجة المجالات التناظرية والرقمية في وقت واحد. منذ نهاية التسعينيات،

❑ أدت هذه الحاجة إلى ظهور لغات وصف الأجهزة لأنظمة الإشارات المختلطة (MSHDLs لغات وصف أجهزة الإشارات المختلطة). توفر هذه الأنواع من اللغات اهتماماً كبيراً بنهج تصميم النظام.

3. LANGAGES DE MODÉLISATION NUMÉRIQUES

- ❑ Les langages de modélisation numérique, tels que le **HDL (Hardware Description Language)**, sont des langages de description matérielle de haut niveau utilisés pour formaliser la conception des circuits logiques électroniques, notamment pour les ASICs (Application Specific Integrated Circuits) et les FPGAs (Fields Programmable Gate Arrays).
- ❑ Les fonctions du HDL comprennent la description du fonctionnement et de la structure du circuit, la documentation, les preuves formelles, la co-vérification de la netlist, et la simulation pour les tests du circuit.

❑ لغات النمذجة الرقمية، مثل (HDL لغة وصف الأجهزة)، هي لغات وصف عالية المستوى للأجهزة، تستخدم لإضفاء الطابع الرسمي على تصميم الدوائر المنطقية الإلكترونية، خاصة لـ ASICs و FPGAs

❑ تتضمن وظائف HDL وصف تشغيل الدائرة وهيكلها، التوثيق، الأدلة الرسمية، التحقق المشترك من قائمة netlist ومحاكاة اختبار الدائرة.

3. LANGAGES DE MODÉLISATION NUMÉRIQUES

❑ Il existe plusieurs types de langages de description de matériel (HDL), dont les plus connus sont :

❑ Langage Verilog:

- Le langage Verilog était à l'origine un langage propriétaire (**non libre**) de description de matériel, développé par la société "**Cadence Design Systems**", pour être utilisé dans leurs simulateurs logiques. L'Institut d'Electrique et d'Electroniques des Ingénieurs (IEEE) a normalisé le langage « **Verilog** » comme un langage de description pour les modèles numériques.
- Le langage Verilog permet d'une part de décrire l'enchaînement d'événements et d'autre part de synthétiser des circuits numériques par combinaison de plusieurs éléments logiques (modules, portes logiques,...).
- La syntaxe de « Verilog » est largement inspirée du langage de programmation C

لغات النمذجة الرقمية:

- هناك عدة أنواع من لغات وصف الأجهزة (HDL)، ومن أشهرها:
- لغة فيريولوج: كانت لغة Verilog في الأصل لغة وصف الأجهزة (غير الحرة)، التي طورتها شركة "Cadence Design Systems"، لاستخدامها في أجهزة المحاكاة المنطقية الخاصة بهم.
- قام معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) بتوحيد لغة Verilog كلغة وصف للنماذج الرقمية.
- لغة Verilog تجعل من الممكن وصف تسلسل الأحداث من ناحية، ومن ناحية أخرى، جميع الدوائر الرقمية من خلال الجمع بين عدة عناصر منطقية (الوحدات، والبوابات المنطقية، وما إلى ذلك).
- اللغة "Verilog" مستوحى إلى حد كبير من لغة البرمجة C

3. LANGAGES DE MODÉLISATION NUMÉRIQUES

□ Langage VHDL:

- Le langage VHDL (Very High Speed integrated circuits Hardware Description Language) est un langage lisible, actuel et puissant de description de matériel destiné à décrire le comportement et/ou l'architecture d'un système électronique numérique.
- L'intérêt d'une telle description réside dans son caractère exécutable, c.-à-d. une spécification fonctionnelle décrite en VHDL peut être vérifiée par simulation avant la finalisation de la conception détaillée du système. La syntaxe du VHDL est originaire du langage ADA.

□ لغة VHDL

- VHDL لغة وصف أجهزة الدوائر المتكاملة عالية السرعة) هي لغة وصف أجهزة قابلة للقراءة وحديثة وقوية تهدف إلى وصف سلوك و/أو بنية النظام الإلكتروني الرقمي.
- وتكمن قيمة هذا الوصف في طبيعته القابلة للتنفيذ، أي يمكن التحقق من المواصفات الوظيفية الموضحة في VHDL عن طريق المحاكاة قبل الانتهاء من التصميم التفصيلي للنظام. ينشأ بناء جملة VHDL من لغة ADA.

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

- Un modèle mixte inclut des parties ayant un comportement continu (parties analogiques) et des parties ayant un comportement dirigé par événements (parties logiques) qui interfèrent. À l'aide des langages de modélisation mixte de haut niveau, les différentes phases de conception d'un système peuvent être optimisées. Ces langages permettent de traiter indifféremment des modélisations logiques, analogiques ou mixtes au sein d'un même composant ou système.
- Parmi ces langages, on peut citer : VHDL-AMS, Verilog-AMS, MAST, Modelica et la notation Bond Graph.

□ يشتمل النموذج المختلط على أجزاء ذات سلوك مستمر (أجزاء تناظرية) وأجزاء ذات سلوك يحركه الحدث (أجزاء منطقية). باستخدام لغات النمذجة المختلطة عالية المستوى، يمكن تحسين مراحل التصميم المختلفة للنظام. تتيح هذه اللغات معالجة النمذجة المنطقية أو التناظرية أو المختلطة بشكل عشوائي داخل نفس المكون أو النظام.

□ ومن بين هذه اللغات، يمكننا أن نذكر: VHDL-AMS، Verilog-AMS، MAST، Modelica و Bond

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

□ **MAST** (Mixed Analog and Signal Technology) est un langage propriétaire introduit en 1986 par la société Analogy (aujourd'hui Synopsys). Il constitue la première tentative réussie de définir un langage de description comportementale orienté vers les systèmes multi-technologiques pour la simulation analogique et des signaux mixtes. MAST offre la capacité de modéliser des systèmes électriques et non-électriques tels que thermiques, hydrauliques et optiques. Bien qu'il soit largement utilisé dans l'industrie, notamment dans l'automobile et l'aéronautique, MAST présente des inconvénients tels que l'absence de normalisation IEEE, une syntaxe éloignée de VHDL et Verilog, une adaptation peu optimale à la description des systèmes numériques, et la présence de fonctions cachées.

□ MAST: (تقنية الإشارة والتناظرية المختلطة) هي لغة خاصة تم تقديمها في عام 1986 بواسطة شركة وهو يشكل أول محاولة ناجحة لتحديد لغة وصف سلوكية موجهة نحو أنظمة متعددة التقنيات لمحاكاة الإشارات التناظرية والمختلطة. يوفر MAST القدرة على نمذجة الأنظمة الكهربائية وغير الكهربائية مثل الحرارية والهيدروليكية والبصرية. على الرغم من أنه يستخدم على نطاق واسع في الصناعة، وخاصة في صناعات السيارات والطيران، إلا أن MAST له عيوب مثل الافتقار إلى توحيد معايير IEEE، وبناء الجملة بعيداً عن VHDL وVerilog، والتكيف الأقل من الأمثل مع وصف الأنظمة الرقمية، ووجود وظائف مخفية.

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

- ❑ **Verilog-AMS** est un langage de description matérielle (HDL) développé sous la supervision d'Accellera pour étendre Verilog (IEEE-1364) vers des domaines analogiques mixtes. La version la plus récente, "Verilog-AMS LRM-2.2," date de novembre 2004.
- ❑ Ce langage permet la description comportementale de systèmes analogiques et mixtes, applicables aux domaines électriques et non-électriques. Il utilise des concepts tels que les nœuds, les branches et les ports pour décrire les systèmes, autorisant la présence simultanée de signaux analogiques et numériques dans un même module. Il est important de noter que Verilog-AMS n'est pas une norme IEEE.

- ❑ Verilog-AMS هي لغة وصف الأجهزة (HDL) التي تم تطويرها تحت إشراف Accellera (لتوسيع Verilog) إلى المجالات التناظرية المختلطة. أحدث إصدار، "Verilog-AMS LRM-2.2"، يعود تاريخه إلى نوفمبر 2004.
- ❑ تسمح هذه اللغة بالوصف السلوكي للأنظمة التناظرية والمختلطة، والتي تنطبق على المجالات الكهربائية وغير الكهربائية. ويستخدم مفاهيم مثل العقد والفروع والمنافذ لوصف الأنظمة، مما يسمح بالوجود المتزامن للإشارات التناظرية والرقمية في نفس الوحدة. من المهم ملاحظة أن Verilog-AMS ليس معيارًا لـ IEEE.

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

- ❑ **VHDL-AMS** La norme VHDL a été étendue pour répondre aux besoins de l'électronique en créant la norme IEEE 1076.1-1999, connue sous le nom de VHDL-AMS (VHDL-Analog & Mixed Signal). Cette extension, publiée sous le standard IEEE Std 1076.1 2007 le 15 novembre 2007, est une mise à jour de la norme IEEE 1076-1992 existante.
- ❑ VHDL-AMS intègre toutes les fonctionnalités du VHDL standard et permet en plus la description de systèmes mixtes à travers des modèles multi-abstractions, multidisciplinaires, hiérarchiques, à temps continu et à événements discrets (voir Fig. 1)

❑ VHDL-AMS تم توسيع معيار VHDL لتلبية احتياجات الإلكترونيات من خلال إنشاء معيار IEEE 1076.1-1999، المعروف باسم (VHDL-AMS (VHDL-Analog & Mixed Signal). هذا الامتداد، المنشور باسم IEEE Std 1076.1 2007 في 15 نوفمبر 2007، هو تحديث لـ IEEE Std 1076-1992 الحالي.

❑ يدمج VHDL-AMS جميع وظائف VHDL القياسية ويسمح بالإضافة إلى ذلك بوصف الأنظمة المختلطة من خلال نماذج متعددة التجريد ومتعددة التخصصات والهرمية والمستمرة والأحداث المنفصلة.

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAINE

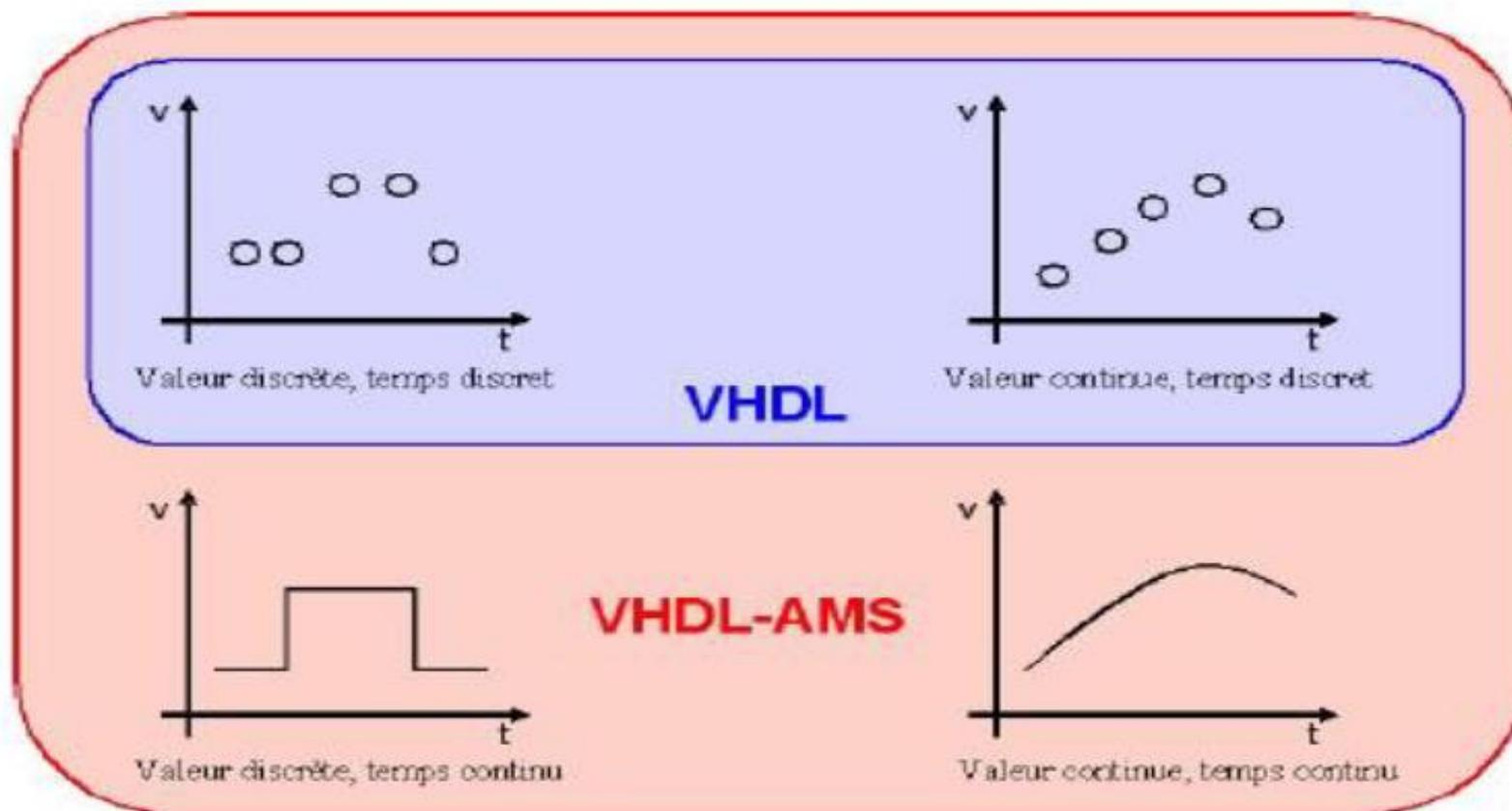


Fig. 1 : Couverture du langage VHDL-AMS.

4. LANGAGES DE MODÉLISATION MIXTE MULTI-DOMAIN

□ **Modelica** représente un langage de modélisation informatique orienté objet, consacré à la modélisation de systèmes physiques, complexes et hétérogènes. Les modèles Modelica sont décrits mathématiquement de façon acausale par les équations différentielles algébriques discrètes. Ainsi, l'effort de modélisation est considérablement diminué avec ce langage du fait de la réutilisation possible des composants et aussi de l'inexistence des manipulations manuelles. L'utilisation du langage Modelica est presque similaire à celle de Verilog-AMS et VHDL-AMS car il décrit un système sous la forme d'un ensemble d'équations

□ تمثل لغة Modelica نمذجة حاسوبية مخصصة لنمذجة الأنظمة الفيزيائية المعقدة وغير المتجانسة. يتم وصف نماذج موديليكيا رياضيا بشكل سببي من خلال معادلات تفاضلية جبرية منفصلة. وبالتالي، تم تقليل جهد النمذجة بشكل كبير باستخدام هذه اللغة بسبب إمكانية إعادة استخدام المكونات وأيضاً عدم وجود عمليات معالجة يدوية. إن استخدام لغة Modelica يشبه تقريباً استخدام لغة Verilog-AMS وVHDL-AMS لأنها تصف النظام على أنه مجموعة من المعادلات



Y a-t-il des questions !
