

Основные правила моделирования электронных устройств с использованием программ схемотехнического анализа

Характерной ошибкой при анализе электронных схем с использованием программ схемотехнического анализа (в частности MicroCAP) является «лобовой» подход к моделированию. При этом принципиальная схема устройства (подчас – достаточно сложного) механически переносится в редактор схем, затем лихорадочно ищутся модели компонентов или их аналоги (подобных вопросов полно в любом форуме по электронике). Но, к удивлению новичков, при попытке запустить анализ ничего похожего на ожидаемые режимы работы не получается. Или же появляется сообщение о какой-нибудь ошибке. Сразу же – разочарование. Ведь все компоненты и их номиналы скопированы с рабочей схемы (книги, журнала и т.п.). А схема не работает. И все попытки определить причину такого поведения программы схемотехнического анализа обычно заканчиваются неудачей. После этого выносится вердикт – программа никуда не годна. И начинается поиск новой версии или другой, более «продвинутой» программы. Хотя на самом деле причина неудач банальна – незнание принципов работы систем схемотехнического анализа, алгоритмов расчета и используемых моделей компонентов. И, как следствие, непонимание ограничений, которые необходимо учитывать при моделировании электронных устройств.

Современные версии программы MicroCAP позволяют моделировать достаточно сложные схемы. Это – большой плюс для опытных пользователей, но ловушка для новичков. У них возникает желание сразу промоделировать электронное устройство именно в том виде, в каком оно изображено на принципиальной схеме. Но это обычно удается только для очень простых случаев. А в остальных – необходимо сначала немного подумать и отсеять лишнее. Ведь каждый компонент усложняет расчетную модель, увеличивает вероятность ошибки и усложняет отладку схем. Да, именно отладку. Очень многие не придают значения тому, что проводят **имитационное** моделирование. И поведение расчетной модели имитирует поведение реальной схемы во всем. В том числе – и в процессе настройки.

Странно, но почти ни у кого не вызывает удивление тот факт, что сколько-нибудь сложная аналоговая схема сразу после сборки как правило не работает и требует настройки (проверки и подгонки

режимов). А что такой же подгонки и проверки требует расчетная модель – почему-то вызывает удивление.

Авторы статьи используют программы семейства MicroCAP достаточно давно (начиная с MicroCAP-II). Естественные ограничения и несовершенство младших версий позволили за эти годы наработать ряд приемов, которые позволяли выполнять достаточно сложные расчеты даже при скудных возможностях программы (в свое время, при проведении моделирования для кандидатской диссертации вполне хватило учебной (ограниченной) версии MicroCAP-IV) . Эти приемы актуальны и при использовании современных версий. Они намного упрощают освоение программ схемотехнического анализа и получения практических навыков работы с ними, а также позволяют сэкономить массу времени, которое начинающие пользователи тратят на борьбу с характерными ошибками. Кроме того, использование помимо компьютера еще и собственной головы позволяет лучше разобраться в принципах работы моделируемых электронных устройств.

Общие правила моделирования достаточно просты. Необходимо четко осознать, что моделирование электронных устройств с использованием пакетов программ схемотехнического анализа включает в себя несколько этапов:

1. Определение задач моделирования;
2. Анализ моделируемой схемы, разложение ее на функциональные узлы и выбор упрощающих допущений;
3. Построение модели анализируемого устройства с учетом упрощающих допущений;
4. Проведение расчета по построенной модели и анализ полученных результатов;
5. Максимально возможное приближение модели к схеме анализируемого устройства, получение окончательных результатов и их анализ.

Рассмотрим эти этапы подробнее.

• **Определение задачи моделирования.** Моделирование электронного устройства подразумевает, что это устройство предварительно разработано и проведен расчет его компонентов инженерными средствами. Поэтому в задачи моделирования могут входить:

1. Подтверждение правильности проведенных инженерных расчетов и проверка работоспособности устройства;
2. Исследование чувствительности к разбросу параметров компонентов;
3. Исследование нестационарных и аварийных режимов работы;

4. Исследование температурной нестабильности устройства;
5. Подбор корректирующих цепей.

• **Анализ моделируемой схемы, разложение ее на функциональные узлы и выбор упрощающих допущений.** Как уже отмечалось выше, большинство электронных устройств слишком сложны для непосредственного анализа. Если в качестве модели использовать полную принципиальную схему, время расчета становится неоправданно большим, либо такой расчет не удастся провести вовсе. Однако, анализ любой схемы показывает, что она состоит из основных и вспомогательных функциональных узлов. Вспомогательные узлы обеспечивают заданные режимы работы основных узлов и моделирование их работы нецелесообразно (по крайней мере – на первом этапе). К ним относятся цепи питания, источники тока и напряжения смещения, задающие генераторы и т.п. Как правило, все эти узлы целиком целесообразно заменить стандартными моделями MicroCAP.

Наиболее характерные примеры упрощенных моделей:

- Источник питания - *battery*
- Источник напряжения смещения (стабилитрон, прямосмещенный диод) - *battery*
- Источник тока *Isource*
- Задающий генератор (прямоугольник, пила) - *pulse source*
- Сеть промышленной частоты (220В, 50Гц) - *sine source*
- Понижающий сетевой трансформатор - *sine source*
- Варикап - *capacitor*
- Компаратор, транзисторный ключ - *switch*
- Операционный усилитель с ограничением - *function sources*

• **Построение модели анализируемого устройства с учетом упрощающих допущений.** Используя рассмотренные выше допущения, строится упрощенная модель анализируемого устройства. Распространенной ошибкой является построение сразу полной модели. Если моделируемое устройство достаточно сложное, то для построения работоспособной модели целесообразно пользоваться методом поблочной настройки, используемым для наладки реальных электронных устройств. Суть его, в применении к построению расчетной модели, состоит в том, что сначала добиваются работоспособности отдельных узлов и лишь потом объединяют их вместе. Например, при анализе усилителя мощности целесообразно сначала промоделировать входной каскад на ОУ (не забыв соответствующим образом замкнуть обратную связь), затем подсоединить выходные каскады, подобрать напряжение смещения этих каскадов и лишь затем завести общую обратную связь и

добавить цепи термостабилизации, коррекции и защиты по току. Пренебрежение этим правилом иногда сильно затрудняет получение работоспособной модели.

Кроме того, не стоит забывать, что поиск моделей конкретных компонентов (например, точной модели какого-нибудь транзистора, используемого в реальной схеме) в подавляющем большинстве случаев является нецелесообразным. Задание в стандартной модели того же транзистора основных справочных параметров практически гарантированно дает вполне приемлемый результат (если, конечно, целью моделирования не является исследование поведения конкретного транзистора в данной схеме).

Вообще же для первичного анализа целесообразно применять базовые модели компонентов. Но, в тоже время – необходимо знать их особенности. К примеру, отсутствие насыщения у простейшей модели операционного усилителя приведет к неработоспособности ряда схем, в которых используется именно этот режим работы компонента.

- **Проведение расчета по построенной модели и анализ полученных результатов.** После получения упрощенной модели проводятся расчеты в соответствии с задачами моделирования. На этом этапе анализ полученных результатов проводится для того, чтобы проверить правомерность принятых упрощающих допущений и, если нужно, провести усложнение модели. На этом же этапе проводится точный подбор цепей смещения и коррекции, а также статистический анализ и определение чувствительности к параметрам компонентов.

- **Максимально возможное приближение модели к схеме анализируемого устройства, получение окончательных результатов и их анализ.** На этом этапе проводят окончательный расчет по скорректированной модели, получают все необходимые характеристики и на основе их анализа делают окончательные выводы.

<http://microcap-model.narod.ru/modelling.htm>