

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭТАЛОНА**

**С.Н. Сазонов, кандидат технических наук**

Известен метод диагностирования интегральных схем с помощью характеристик нелинейности энергопотребления [1, 2]. Суть этого метода заключается в следующем.

В цепь питания интегральной схемы подается двухчастотный тестовый сигнал совместно с постоянным напряжением смещения, с помощью которого осуществляется сканирование в некотором диапазоне нелинейной характеристики энергопотребления. Параметры нелинейности характеристики энергопотребления диагностируемой интегральной схемы оцениваются по уровню комплексной второй производной вольтамперной характеристики её цепи питания. Кроме цепи питания в качестве источника дополнительной диагностической информации могут быть использованы и другие выводы микросхемы.

Наличие или отсутствие значимых скрытых дефектов в диагностируемом изделии определяется по степени отклонения вторых производных комплексной вольтамперной характеристики цепи питания конкретной интегральной схемы от эталона, который формируется для каждого типа изделий.

При отсутствии информации об объекте диагностирования (или её недостаточности) эталон обычно формируется статистически по выборке изделий данного типа, о которой известно, что в ней присутствие изделий со значимыми скрытыми дефектами незначительно. То есть с точки зрения каких-либо ресурсных испытаний, например, – на основе электротермотренировки, эта выборка признана потенциально надежной.

Достоинством этого способа формирования эталона безусловно является тот факт, что нет ограничений на тип диагностируемых изделий. Однако этому способу присущ тот недостаток, что для формирования характеристик эталона требуется значительное количество временных и материальных ресурсов.

Другой способ формирования эталона, предлагаемый в данной статье, заключается в следующем. При известных технологических параметрах интегральной схемы и средней степени её интеграции возможно осуществить формирование эталона на основе имитационного моделирования. При этом приборные структуры, входящие в состав интегральной схемы, представляются их аналитическими моделями, точность которых определяет достоверность диагностирования.

В качестве примера рассмотрим принцип формирования модели эталона для биполярной схемы типа К118УН1. Микросхема представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного и переменного токов. Определение параметров модели эталона производится по эквивалентной схеме этой микросхемы, которая изображена на рисунке при представлении интегральной схемы в

виде нелинейного двухполосника по цепи питания.

Вольтамперную характеристику этого двухполосника можно выразить нелинейной функцией

$$I(U) = U_{КБ2}/R1 + I_{К2} \quad (1)$$

или

$$I(U) = I_{К1} + I_{F2} + \alpha_{R2} I_{КS2}, (2)$$

где:  $U_{КБ2}$  – напряжение коллектор-база второго транзистора,

$I_{К1}$ ,  $I_{К2}$  – ток коллектора соответственно первого и второго транзисторов;

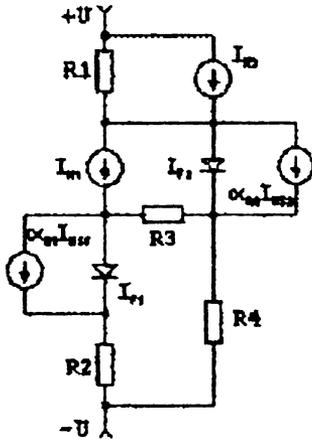
$I_{F2}$  – ток второго

эквивалентного диода;

$\alpha_{R2}$  – коэффициент передачи по току второго транзистора в инверсном включении;

$I_{КS2}$  – ток насыщения коллекторного перехода второго транзистора

В уравнении (1) и (2) параметры  $U_{КБ2}$ ,  $I_{К2}$ ,  $I_{К1}$  и  $I_{F2}$  зависят от приложенного напряжения  $U$ , поэтому для определения вольтамперной характеристики цепи питания интегральной схе-



мы необходимо решить систему нелинейных уравнений относительно четырёх неизвестных параметров  $U_{ЭБ1}$ ,  $U_{КБ1}$ ,  $U_{ЭБ2}$  и  $U_{КБ2}$ :

$$I_{К1} + I_{F2} + \alpha_{R2} I_{КС2} - U_{КБ2}/R1 - I_{К2} = 0,$$

$$I_{К1} + (U_{КБ1} - U_{ЭБ2})/R3 - \alpha_{R1} I_{КС1} - I_{F1} = 0,$$

$$I_{F1} + \alpha_{R2} I_{КС2} - (U_{КБ1} - U_{ЭБ2})/R3 - (U - U_{КБ2} - U_{ЭБ2})/R4 = 0,$$

$$I_{F1} + \alpha_{R1} I_{КС1} - (U - U_{КБ2} - U_{КБ1} - U_{ЭБ1})/R2 = 0.$$

В системе (3) токи коллектора первого и второго транзисторов  $I_{К1}$  и  $I_{К2}$  определяются согласно выражению

$$I_{К} = I_{КС} [\exp(U_{КБ}/U_T - 1)] + \alpha_F I_{ЭС} [\exp(U_{ЭБ}/U_T - 1)], \quad (4)$$

где:  $U_{ЭБ}$  – напряжение база-эмиттер;

$U_T$  – температурный потенциал,

а ток эквивалентного диода, соответствующий прямому активному режиму, определяется уравнением

$$I_F = I_{ЭС} [\exp(U_{ЭБ}/U_T - 1)] \quad (5)$$

Остальные параметры эквивалентной схемы считаются константами и характеризуются технологическим исполнением активных приборных структур. К этим константам относятся коэффициенты передачи по току в прямом  $\alpha_R$  и инверсном  $\alpha_F$  включении, а также токи насыщения эмиттерного  $I_{ЭС}$  и коллекторного  $I_{КС}$  переходов в инверсном включении.

Система уравнений (3) для каждого значения напряжения смещения  $U$  решается численными методами, например, методом градиентного спуска. В результате определения четырёх переменных  $U_{ЭБ1}$ ,  $U_{КБ1}$ ,  $U_{ЭБ2}$  и  $U_{КБ2}$  вычисляется вольтамперная характеристика цепи питания интегральной схемы. Затем численным дифференцированием находят значение её второй производной  $\Gamma''(U)$ , которая и будет являться эталоном для данного типа интегральных схем.

Задавая допуски на технологические параметры изделия, то есть на константы, можно определить эталонную область характеристик нелинейности энергопотребления, выход за пределы которой измеренных характеристик конкретного изделия означает его потенциальную надёжность.

Кроме отбраковки потенциально ненадёжных изделий со скрытыми дефектами, данный эталон можно использовать для

определения технологических параметров (констант) конкретного объекта диагностирования.

Это осуществляется следующим образом. На основе ранее полученного выражения (1) составляют другую схему уравнений, в которой параметры  $U_{ЭБ1}$ ,  $U_{КБ1}$ ,  $U_{ЭБ2}$  и  $U_{КБ2}$  считаются известными, так как они определялись для эталона.

Параметры, которые при определении эталона считались известными (константы для эталона), теперь подлежат определению, поскольку в конкретном объекте диагностирования они отличаются от эталона. Эти параметры также определяются численными методами, в частности тем же методом градиентного спуска или его аналогом, используемым для решения систем нелинейных уравнений.

Количество уравнений в системе определяется числом параметров, которые подлежат определению. На каждый активный прибор требуется определить три характеризующих его параметра, так как четвёртый определяется с помощью соотношения обратимости

$$\alpha_F I_{3S} = \alpha_R I_{kS} \quad (6)$$

С учётом четырёх резисторов для полного определения параметров интегральной схемы K118УН1 достаточно системы из десяти уравнений, что определяет минимально необходимое количество точек характеристик нелинейности энергопотребления, подлежащих регистрации указанным выше методом.

Геометрически найденные параметры можно интерпретировать следующим образом. Характеристика нелинейности энергопотребления эталона трансформируется изменением параметров до совпадения с аналогичной характеристикой диагностируемого объекта. При совпадении характеристик параметры трансформируемой характеристики соответствуют параметрам диагностируемого объекта.

Таким образом, использование имитационного моделирования характеристик нелинейности энергопотребления потенциально позволяет достигнуть локализации скрытого дефекта с точностью до одной приборной структуры. Типы изделий, которые можно диагностировать с использованием модели эталона,

ограничиваются только сложностью составления систем уравнений и в некоторой степени вычислительными возможностями конкретных ЭВМ, применяемых при моделировании эталона, поскольку для составления и решения систем уравнений с большим числом параметров требуется значительный объем оперативной памяти.

### Литература

1. Сердюк Г.Б., Усатенко В.Г., Сазонов С.Н. Отбраковка потенциально ненадежных операционных усилителей по характеристике квадратичной нелинейности ВАХ цепи питания. // Вестник Киевского политехнического института. Автоматика и электробриборостроение. – 1992. – Вып. 29. – С. 6 – 8.
2. Усатенко В.Г., Сазонов С.Н., Савчук Е.В. Отбраковка потенциально ненадежных микропроцессоров для АСУ в энергетике. // Тез. докл. Респ. науч. – техн. конф. «Проблемы и опыт внедрения АСУ в энергетике на основе микропроцессорной техники». – Ташкент, 1991. – С. 63 – 64.

УДК 621.43.2

## УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИКИ ДИЗЕЛЯ С ТУРБОНАДДУВОМ

А.П. Кожванников, кандидат технических наук

За последние два десятилетия мощность основных сельскохозяйственных тракторов возросла в полтора-два раза в каждом тяговом классе.

В то же время прирост производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА) с двигателями, имеющими газотурбинный наддув, в значительной степени отстаёт от роста мощности. Такое положение приводит к увеличению стоимости единицы выполненной работы МТА, что существенно отражается на экономике с.-х. производства.

Исследованиями [1,2] установлено, что основной причиной ухудшения эффективности МТА является понижение коэффициента использования установленной на тракторе мощности