

ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ БАЗОВОГО ЛОГІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ ТРАНСЛЯТОРА НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ІНДУКЦІЙНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ

У статті розглядається нова діагностична модель базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми для безконтактного індукційного методу діагностування.

Процес визначення технічного стану сучасного радіоелектронного озброєння (РЕО) пов'язаний з реєстрацією та обробкою діагностичних параметрів (ДП) радіо електронних компонентів (РЕК) що входять до його складу. Використання нового методу діагностування – безконтактного індукційного методу, потребує використання нових діагностичних моделей, що відображують зв'язок ДП з фізико-хімічними властивостями РЕК.

Ключові слова: діагностична модель, безконтактний індукційний метод.

Вступ. Сучасні об'єкти радіоелектронного озброєння (РЕО) представляють собою складні технічні системи, що являються об'єднанням модулів різного фізичного виконання та призначення. Проведення якісного діагностування цифрових блоків РЕО залежить від адекватності діагностичної моделі об'єкту контролю, методики проведення діагностування і методу діагностування [1,3].

Структурною частиною об'єктів РЕО являються цифрові блоки, до складу яких входять напівпровідникові РЕК. Основою напівпровідникових РЕК є активні елементи (діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми). Тому в основу діагностичної моделі цифрового блоку для безконтактного індукційного методу діагностування [2,3] покладено модель активних елементів що входять до складу цього блоку.

Для визначення діагностичних параметрів базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми необхідно розробити діагностичну модель з урахуванням процесів, що в ньому відбуваються. Дані процеси можуть бути проаналізовані за допомогою моделей, що враховують не тільки електрофізичні, а і фізико-хімічні властивості елементів в залежності від часу напрацювання. Знання цих властивостей дозволяє використовувати безконтактного індукційний метод діагностування, в якому використовується найбільш інформативний параметр, що вимірюється в одній контрольній точці. Побудову діагностичної моделі пропонується проводити з використанням сучасних інформаційних технологій. Для цього необхідно розробити алгоритми і прикладні програми для побудови діагностичної моделі і визначення діагностичних параметрів базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми .

Виклад основного матеріалу. У даній статті вирішується задача побудови діагностичної моделі базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми .

Основна частина. Базовим логічним елементом вхідних і вихідних трансляторів напівпровідникових ІС ТТЛ - структури є схема зі складним інвертором. Розглянемо її роботу на прикладі ІМС І-НІ зі складним інвертором (рис. 1, 1'). Схема складається з вхідного каскаду (багатоємітерний транзистор VT_0), вихідного каскаду (транзистори VT_2 , VT_3 , резистор R_3 , діод VD_3) та каскаду, що розчіплює фазу (транзистори VT_1 , VT_4 , резистори R_1, R_2, R_4). Каскад, що розчіплює фазу, забезпечує управляючі сигнали для протифазного переключення вихідних транзисторів.

Вихідний каскад формує струми навантаження I_H в станах логічного „0” або „1”. Резистор R_3 обмежує струм у вихідному каскаді під час переходу схеми із одного стану в інший, коли транзистор VT_2 ще перебуває в режимі насичення, а транзистор VT_3 уже

відкрився. Діод VD_3 забезпечує надійне запирання транзистора VT_3 .

Проведемо аналіз фізичних процесів в елементі І-НІ в справному стані. Розглянемо два випадки.

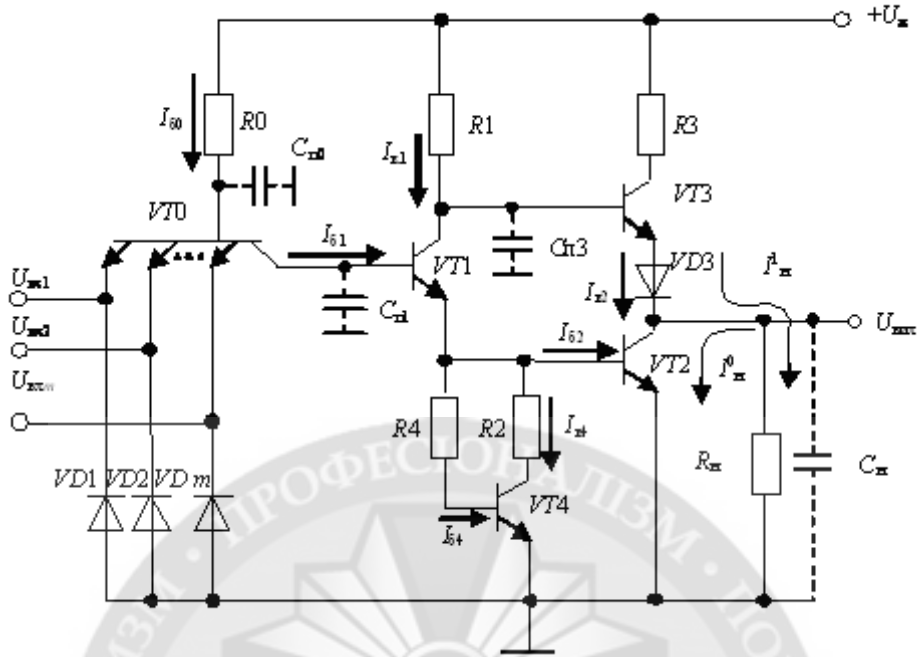


Рис. 1. Схема базового елемента І-НІ зі складним інвертором

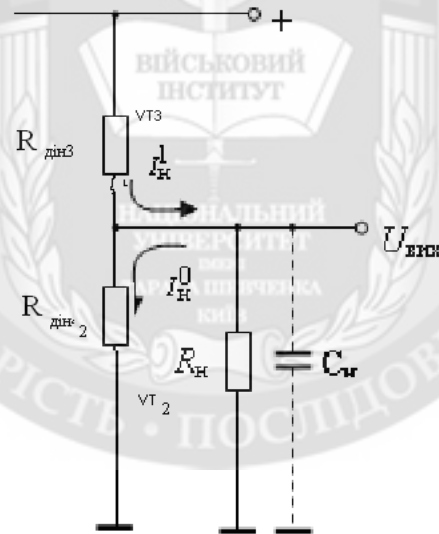


Рис. 1. Еквівалентна схема вихідного транслятора елемента І-НІ

Перший, коли на його виході буде рівень логічної „1”, тобто високий потенціал і другий – коли на його виході буде рівень логічного „0”, тобто низький потенціал.

1. При подачі на вхід i_1 елементу І-НІ низького потенціалу $U_{\text{вх}} = U_1$, а на інші ($i-i_1$) входи високого потенціалу $U_1 > U_{\text{н}}$, де i – кількість входів транзистора VT_0 , а $U_{\text{н}}$ – поріг переключення складного інвертора, будуть відкритими i емітерних переходів і колекторний перехід транзистора VT_0 . Потенціал на базі транзистора VT_0 дорівнює $U_{\text{б}1} = U_{\text{вх}} + U^*$, а на базі транзистора VT_1 $U_{\text{б}1} = U_{\text{вх}} + U_{\text{зал}0} < U^*$, де $U_{\text{зал}0}$ - залишкова напруга на насиченому транзисторі VT_0 а U^* - величина спадання напруги на відкритому $p-n$ переході транзистора і діода VD_3 .

Транзистори VT_1 , VT_4 , VT_2 , закриті, а транзистор VT_3 відкритий, на виході підтримується високий потенціал U^1 , значення якого визначається виразом [5, 6, 7]:

$$U^1 = U_{ж} - 2U^* - I_{mc}^1 R_3 \approx U_{ж} - 2U^*, \quad (1)$$

де I_{mc}^1 - вихідний струм елементу.

Струм, що протікає повз вихідний транслятор визначається:

$$I_{mc}^1 = \frac{U_{жс}}{R_{\Sigma}}, \quad (2)$$

де R_{Σ} - сумарний опір вихідного транслятору:

$$R_{\Sigma} = R_{\delta n3}^1 + \frac{R_n R_{\delta n2}^1}{R_n + R_{\delta n2}^1}; \quad (3)$$

У зв'язку з тим, що $R_{\delta n2}^1 \rightarrow \infty$, $R_{\delta n3}^1 \rightarrow 0$ то:

$$R_{\Sigma} \approx R_{\delta n3}^1 + R_n \quad (3')$$

З урахуванням виразу для струму [4]:

$$I_{mc}^1 = -\frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\delta n3}^1 + R_n)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\delta n3}^1 + R_n)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2. \quad (4)$$

2. При подачі на вхід i_I елементу І-НІ низького потенціалу $U_{ex} = U_0$, і на інші ($i-i_I$) входи U_0 - потенціали $U_{\delta 0}$ і $U_{\delta 1}$ зростають, поки U_{ex} не досягне значення $U_{жс}$, що визначається виразом [5]:

$$U_{жс} = 2U^* - U_{зал.0}.$$

При цьому $U_{\delta 0} = 3U^*$, $U_{\delta 1} = 2U^*$, $U_{\delta 2} = U_{\delta 3} = U^*$, і транзистори VT_1 , VT_4 , VT_2 відкриваються. Починає протікати колекторний струм транзистора VT_1 , внаслідок чого потенціали U_{k1} і $U_{вих} = U_{k1} - 2U^*$ зменшуються. При подальшому збільшенні U_{ex} потенціали $U_{\delta 0}$, $U_{\delta 1}$, $U_{\delta 2}$, $U_{\delta 4}$ зберігають досягнуті значення, емітерні переходи VT_0 закриваються. Транзистор VT_1 входить у режим насичення. В цьому випадку струми транзистора визначаються виразом [7, 42]

$$I_{\delta 1} = I_{\delta n1} = I_{\delta n0} (1 + m\beta_I') = \frac{(1 + m\beta_I')(E - 3U^*)}{R_0}, \quad (5)$$

$$I_{k1} = I_{кн1} = \frac{U_{ж} - U_{k1}}{R_1} \approx \frac{U_{ж} - U^*}{R_1}, \quad (6)$$

де β_I' - інверсний коефіцієнт підсилення струму для кожного з емітерів транзистора VT_0 .

Потенціал U_{k1} встановлюється на рівні $U^* + U_{зал1} \approx U^*$. На резисторах R_2 і R_4 підвищується потенціал і відкриває транзистор VT_2 . Через базу VT_2 починає протікати струм $I_{\delta n2}$, що викликає його насичення [5, 6]:

$$I_{\delta n2} = I_{\delta n1} + I_{кн1} - (I_{\delta n4} + I_{кн4}) \approx I_{\delta n1} + I_{кн1} - \frac{U^*}{R_2}. \quad (7)$$

На виході елемента І-НІ встановлюється низький потенціал U_0 , який визначається виразом [7, 42, 136]:

$$U_{вих}^0 = U_{зал2} = U_{ке2} + I_{кн2} r_{kk} \quad (8)$$

де r_{kk} - об'ємний опір колекторного шару;

$I_{кн2} r_{kk} \approx 0$ (тому, що транзистор VT_2 знаходиться у режимі відсічки).

$$U_{кє2} = p\varphi_T \ln \frac{\beta'_i + 1}{\beta'_i}, \quad (9)$$

де p – фактор, величина, що характеризує відмінність реального струму від ідеального; φ_T – температурний потенціал.

Різниця потенціалів між колектором VT_1 і виходом недостатня для того, щоб відкрити послідовно включені VT_3 і VD_3 :

$$U_{к1} - U_{вих} = U^* + U_{зал1} - U_{зал2} \approx U^* < 2U^*.$$

Тому VT_3 і VD_3 закриті і струм дорівнює:

$$I_{мс}^0 = \frac{U_{жс}}{R_{\Sigma}}, \quad (10)$$

де $I_{мс}^0$ - вихідний струм, величина якого визначається:

$$R_{\Sigma} = R_{\partialн3}^0 + \frac{R_n R_{\partialин2}^0}{R_n + R_{\partialин2}^0}, \quad R_{\partialин3}^0 \rightarrow \infty, \quad R_{\partialин2}^0 \rightarrow 0 \quad (11)$$

$$R_{\Sigma} \approx R_{\partialн3}^0 + R_{\partialин2}^0. \quad (11')$$

З урахуванням виразу для струму (4):

$$I_{мс}^0 = - \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^0 + R_{\partialин2}^0)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^0 + R_{\partialин2}^0)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2. \quad (12)$$

Таким чином діагностична модель такої ІМС є система рівнянь що описують колекторні струми транзисторів *вихідного транслятору* (рис 1, 1').

$$\begin{aligned} I_{мс}^1 &= - \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^1 + R_n)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^1 + R_n)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2 \\ I_{мс}^0 &= - \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^0 + R_{\partialин2}^0)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partialн3}^0 + R_{\partialин2}^0)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2. \end{aligned} \quad (13)$$

Підставляючи значення n_1, n_2 [3], отримуємо наступну систему рівнянь котра є діагностичною моделлю базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми для безконтактного індукційного методу діагностування:

$$\begin{aligned}
I_{MC}^1 = & -\frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partial iB}^1 + R_H)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} \frac{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp \left[\frac{E_c}{KT} - \frac{\Delta Ed}{2KT} - \ln \left[\frac{h^3 (N_{d0} + N_{dm}) \left(1 - 2\Phi_0 \left(\frac{\sqrt{2x}}{2\sqrt{Ddt}} \right) \right)^{\frac{1}{2}}}{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}} \right] \right]^{\frac{1}{2}} + \\
& + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partial iB}^1 + R_H)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} \frac{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp \left[\frac{E_c}{KT} - \frac{\Delta Ed}{2KT} - \ln \left[\frac{h^3 (N_{d0} + N_{dm}) \left(1 - 2\Phi_0 \left(\frac{\sqrt{2x}}{2\sqrt{Ddt}} \right) \right)^{\frac{1}{2}}}{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}} \right] \right]^{\frac{1}{2}} \\
I_{MC}^0 = & -\frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partial iB}^0 + R_{\partial iL}^0)} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} \frac{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp \left[\frac{E_c}{KT} - \frac{\Delta Ed}{2KT} - \ln \left[\frac{h^3 (N_{d0} + N_{dm}) \left(1 - 2\Phi_0 \left(\frac{\sqrt{2x}}{2\sqrt{Ddt}} \right) \right)^{\frac{1}{2}}}{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}} \right] \right]^{\frac{1}{2}} + \\
& + \frac{2dD_n}{\mu n L_n (R_{\partial iB}^0 + R_{\partial iL}^0)} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} \frac{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp \left[\frac{E_c}{KT} - \frac{\Delta Ed}{2KT} - \ln \left[\frac{h^3 (N_{d0} + N_{dm}) \left(1 - 2\Phi_0 \left(\frac{\sqrt{2x}}{2\sqrt{Ddt}} \right) \right)^{\frac{1}{2}}}{2(2\pi m_n^* KT)^{\frac{3}{2}}} \right] \right]^{\frac{1}{2}}
\end{aligned} \tag{14}$$

Висновки. Таким чином, в статті вирішена наукова задача, що полягає у побудові діагностичної моделі базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми для безконтактного індукційного методу діагностування. Вираз (14) визначає залежність струму базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми в залежності від фізико-хімічних властивостей напівпровідника та часу напрацювання.

Модель можливо використовувати для різних типів мікросхем з метою отримання діагностичного параметру базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми для безконтактного індукційного методу діагностування у вигляді залежностей струму I від електрофізичних та фізико-хімічних параметрів напівпровідника та часу напрацювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ленков С. В. Діагностична модель радіо компонента для електромагнітного методу діагностування у складі радіоелектронного пристрою / С. В. Ленков, О. В. Карпенко, П. А. Шкуліпа // Науково-практичний журнал «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони». – Київ, 2011. – №3(12). – С.31 – 33.
2. Жердев М. К. Побудова діагностичної моделі транзистора в активному режимі роботи для енергодинамічного методу діагностування / М. К. Жердев, П. А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків, 2012. – Вип. 4(33). – С.122 – 124.

3. Кузавков В. В. Діагностична модель р-п (n-p) переходу в динамічному режимі для безконтактного індукційного методу діагностування / В. В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2014. – Вип. №45. – С. 41 – 45.

4. Жердев М. К. Алгоритм аналізу фізичних процесів та діагностична модель транзистора в ключовому режимі / М. К. Жердев, В. В. Кузавков // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – К.: КПІ, 2014. – Вип. №1(27). – 26 с.

5. Алексеенко А.Г. Микросхемотехника: учеб. пособие для вузов / А.Г. Алексеенко, И.И. Шагурин. – М.: Радио и связь, 1990. – 2-е изд. – 496 с.

6. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.

7. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: справочник / В.Л. Шило. – М.: Радио и связь, 1988. – 352 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н., проф. Жердев Н.К., к.т.н. Кузавков В.В.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗОВОГО ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ТРАНСЛЯТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В статье рассматривается новая диагностическая модель базового логического элемента транслятора полупроводниковой интегральной схемы для бесконтактного индукционного метода диагностирования.

Процесс определения технического состояния современного радиоэлектронного вооружения (РЭВ) связанный с регистрацией и обработкой диагностических параметров (ДП) радиоэлектронных компонентов (РЭК), что входят в его состав. Использование нового метода диагностирования - бесконтактного индукционного метода, нуждается в использовании новых диагностических моделей, которые отображают связь ДП с физико-химическими свойствами РЭК.

Ключевые слова: диагностическая модель, бесконтактный индукционный метод.

prof. Zherdev N.K., Ph.D. Kuzavkov V.V.

DIAGNOSTIC MODEL BASIC LOGIC ELEMENTS BROADCASTER IS A SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT FOR CONTACTLESS INDUCTIVE METHODS DIAGNOSIS

The article describes a new diagnostic model of basic logic element translator semiconductor integrated circuit for contactless inductive method of diagnosis.

The process of determining the technical mill modern electronic equipment (REV) associated with the registration and processing of diagnostic parameters (AP) radio electronic components (RECs), which are part of it. Using a new method of diagnosis - non-contact induction method requires the use of new diagnostic models that display communications DP with physico-chemical properties of the RECs.

Keywords: diagnostic model, contactless inductive method.