

Т. ЛАУСМАА, Ю. ХУНТ

**СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-  
 ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ НА  
 ДРОССЕЛЯХ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ**

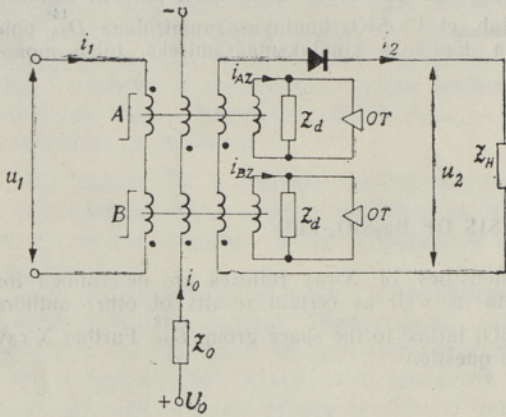


Рис. 1.

Рассмотрим приведенную на рис. 1 схему усилителя [1]. Обозначения следующие:  $Z_d$  — динамическое сопротивление — учитывает динамические свойства сердечника;  $OT$  — симметричный ограничитель тока — учитывает ширину гистерезисной петли ( $2i_s$ );  $u_1$  — напряжение питания;  $U_0$  — э. д. с. управления;  $Z_0$  — сопротивление в цепи управления;  $Z_H$  — сопротивление нагрузки.

Как видно, суммарные токи дросселей связаны системой уравнений

$$i_A = i_1 + i_0 + i_2 - i_{AZ}, \tag{1}$$

$$i_B = -i_1 + i_0 + i_2 - i_{BZ}.$$

Предположим, что

$$i_{AZ} = +i'_1 - i'_2, \tag{2}$$

$$i_{BZ} = +i'_1 + i'_2,$$

откуда

$$i'_1 = \frac{i_{AZ} + i_{BZ}}{2}, \tag{3}$$

$$i'_2 = \frac{i_{BZ} - i_{AZ}}{2}.$$

Подставив (2) в систему (1), получим

$$i_A = i''_1 + i''_2 + i_0, \tag{4}$$

$$i_B = -i''_1 + i''_2 + i_0,$$

где

$$i''_1 = i_1 - i'_1,$$

$$i''_2 = i_2 + i'_2.$$

Так как

$$i_{AZ} = \frac{u_A}{Z_d} + i_s, \tag{5}$$

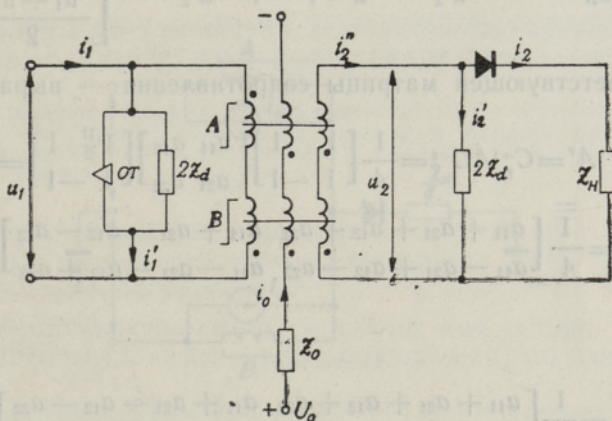
$$i_{BZ} = \frac{u_B}{Z_d} + i_s,$$

то

$$i'_1 = \frac{u_A + u_B}{2Z_d} + 2i_s = \left( \frac{u_1}{2Z_d} + i_s \right), \tag{6}$$

$$i'_2 = \frac{u_B - u_A}{2Z_d} = \frac{u_2}{2Z_d}.$$

Рис. 2.

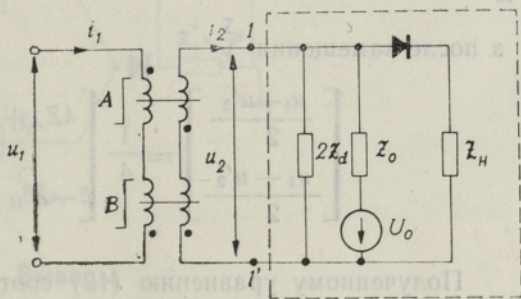


Системе уравнений (4) соответствует схема рис. 2. Пренебрегая  $i'_1$ , так как он не влияет на режим работы усилителя, и совмещая обмотки управления и выхода, так как они соединены одинаково, приходим к схеме замещения на рис. 3.

Обозначим эквивалентное сопротивление двухполюсника (11') через  $Z'_H$ , эквивалентную э.д.с. через  $u'_2$  и индуктивные сопротивления взаимной индукции обмоток дросселей соответственно через  $Z_A = M_{Ad}/dt$  и  $Z_B = M_{Bd}/dt$  и запишем отвечающее схеме рис. 3 матричное уравнение

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_A + Z_B & Z_A - Z_B \\ Z_A - Z_B & Z'_H + Z_A + Z_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}, \tag{7}$$

Рис. 3.



где

$$\begin{aligned} Z_A + Z_B &= a_{11}, & Z_A + Z_B + Z'_H &= a_{22}; & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} &= A. \\ Z_A - Z_B &= a_{12} = a_{21}, \end{aligned}$$

Дроссельные токи  $i_A$  и  $i_B$  представим в виде

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Перейдя на новые координаты тока  $\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix}$ , для соответствующих им напряжений получим выражение

$$\begin{bmatrix} u_A \\ u_B \end{bmatrix} = C^{-1} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_1 + u_2}{2} \\ \frac{u_1 - u_2}{2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

и для соответствующей матрицы сопротивления — выражение

$$\begin{aligned} A' &= C^{-1} A C^{-1} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} a_{11} + a_{21} + a_{12} + a_{22} & a_{11} + a_{21} - a_{12} - a_{22} \\ a_{11} - a_{21} + a_{12} - a_{22} & a_{11} - a_{21} - a_{12} + a_{22} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (10)$$

Итак:

$$\begin{bmatrix} \frac{u_1 + u_2}{2} \\ \frac{u_1 - u_2}{2} \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} a_{11} + a_{21} + a_{12} + a_{22} & a_{11} + a_{21} - a_{12} - a_{22} \\ a_{11} - a_{21} + a_{12} - a_{22} & a_{11} - a_{21} - a_{12} + a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix}, \quad (11)$$

а после замещения

$$\begin{bmatrix} \frac{u_1 + u_2}{2} \\ \frac{u_1 - u_2}{2} \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 4Z_A + Z'_H & -Z'_H \\ -Z'_H & 4Z_A + Z'_H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Полученному уравнению (12) соответствует схема замещения дифференциально-трансформаторного магнитного усилителя, показанная на рис. 4. Заменяя здесь  $Z_0/4$  и  $U_0/2$  источником тока  $I_0$  вследствие большой линейной индуктивности  $Z_0$ , а также пренебрегая динамическим сопротивлением  $Z_d$ , получим схему, изображенную на рис. 5. Эта схема, как видно, эквивалентна симметричному блоку дизъюнкции (конъюнкции) на магнитных ключах с выпрямленным выходом [2, 3].

При этих упрощениях дифференциально-трансформаторный магнитный усилитель можно выразить аналитически в виде

$$u'_H(t) = 0 \vee \frac{d}{dt} (\Psi_{11} \vee \Psi_{12}),$$

где  $\Psi_{1k}$  — переменная составляющая фиктивного потокосцепления, соответствующая входному напряжению  $u_{1j}$  [2],

$$\bigvee_{i=1}^n X_i \equiv \max_{Df} \{X_i | i=1, \dots, n\}.$$

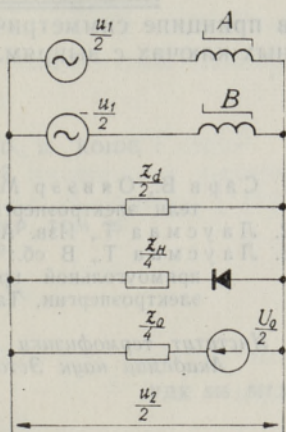


Рис. 4.

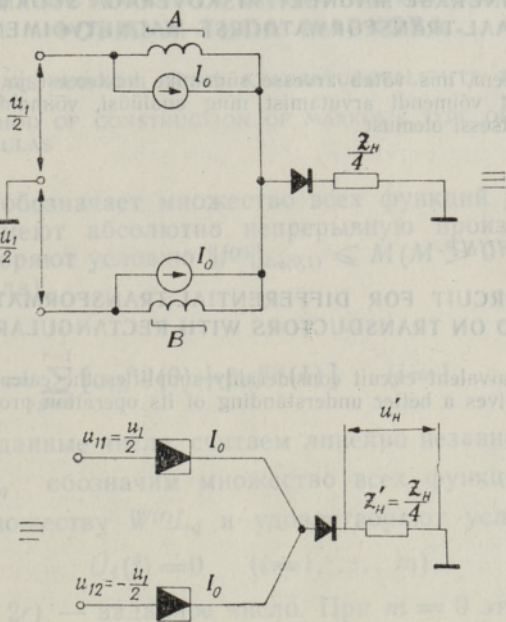


Рис. 5.

### Выводы

Предложенная схема замещения позволяет значительно упростить анализ и расчет усилителя, а также лучше понять процесс его работы, который заключается в следующем.

1. Ширина гистерезисной петли сердечников не влияет на режим работы усилителя.

2. Влияние динамического сопротивления на режим работы усилителя можно учесть с помощью соответствующего шунтирующего сопротивления.

3. Дифференциально-трансформаторный магнитный усилитель на дросселях с прямоугольной кривой намагничивания представляет собой

в принципе симметричный блок дизъюнкции (конъюнкции) на магнитных ключах с выпрямленным выходом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сарв В., Оявээр М., Саккос Т., Хунт Ю., В сб.: Магнитные преобразователи электроэнергии с удвоением частоты, Таллин, 1972.
2. Лаусмаа Т., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **20**, 188 (1971).
3. Лаусмаа Т., В сб.: Синтез функциональных преобразователей на дросселях с прямоугольной кривой намагничивания. Цепи преобразования параметров электроэнергии, Таллин, 1975.

*Институт термofизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
12/IX 1975

*T. LAUSMAA, J. HUNT*

#### TÄISNURKSE MAGNEETIMISKÖVERAGA SÜDAMIKEGA DIFERENTSIAAL-TRANSFORMATOORSE MAGNETVÕIMENDI ASESKEEM

Esitatud aseskeem, mis võtab arvesse südami ke hüstereesi ja dünaamilise takistuse, lihtsustab tunduvalt võimendi arvutamist ning analüüsi, võimaldades ühtlasi paremini mõista tema tööprotsessi olemust.

*T. LAUSMAA, J. HUNT*

#### EQUIVALENT CIRCUIT FOR DIFFERENTIAL-TRANSFORMATIONAL MAGNETIC AMPLIFIER BASED ON TRANSDUCTORS WITH RECTANGULAR HYSTERESIS LOOP

The derived equivalent circuit considerably simplifies the calculation and analysis of the amplifier and gives a better understanding of its operation processes.