

УДК.621.374.4

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЕЛИТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

АБДАЛОВ Ш.И.*Азербайджанский Технический Университет*

Приводится электрическая схема универсального магнитно-тиристорного делителя частоты в 4,8,16,32 раза. Составлен сигнальный граф универсальной математической модели трехфазных делителей частоты с учетом условий устойчивой работы модели. Устойчивость работы модели обеспечивается тем, что в каждом контуре находится нечетное количество операционных усилителей (ОУ), дифференцирование и интегрирование осуществляется в одном контуре, или же один интегратор является общим и для других контуров. Определены области существования параметрического деления и зон затягивания преобразователя.

При работе как одно-, так и трехфазных магнитно-тиристорных делителей частоты, с изменением нагрузки вплоть до короткого замыкания наблюдается «срыв» субгармонических колебаний с заданной частотой, что приводит к затруднению эксплуатации и вытекающим отсюда последствиям [1,2]. В режиме холостого хода подобных делителей нередко наблюдаются такие нежелательные явления, как автоколебания. В этой связи появляется необходимость определения областей устойчивого деления таких делителей.

Для преобразования высокой частоты в низкую в телемеханике, автоматике, источниках питания различных устройств пониженной частоты применяются делители частоты.

Однофазные ферромагнитно-тиристорные делители частоты в четыре, восемь, шестнадцать и тридцать два раза (МТДЧ-4,8,16,32) отличаются от МТДЧ-4,8,16,32 с трехфазным входом (рис.1.) тем, что нагрузка у последних включается в нулевой провод.

Такие МТДЧ состоят из двух ферромагнитных элементов, первичные обмотки которых – W_1 соединены последовательно и встречно. Колебательный (резонансный) контур состоит из согласно соединенных вторичных обмоток и включенного последовательно с ним конденсатора емкостью «С». В первичную цепь трехфазного МТДЧ включены тиристоры Т1,Т2,Т3, управление которыми осуществляется с блока управления. МТДЧ и питается от сети 400 Гц, при этом сигнал управления, поступающий на управляющий электрод тиристора, изменяется в зависимости от того, какой из вариантов деления частоты рассматривается. Для МТДЧ - 4 сигнал управления изменяется с частотой 200 Гц, для делителя в восемь раз -100 Гц, и. т.д. С наступлением положительного полупериода напряжения фазы «А» открывается тиристор «Т1», фазы «В»-«Т2», фазы «С»-«Т3».

При подаче сигнала управления тиристор открывается в положительный полупериод напряжения питающей сети на его аноде. При отпирании тиристора напряжение питающей сети прикладывается к первичной обмотке делителя [3].

Запирание тиристора происходит в момент, когда ток, протекающий через тиристор, уменьшается до величины тока отключения. В этом случае все напряжение питающей сети приложено к тиристорам.

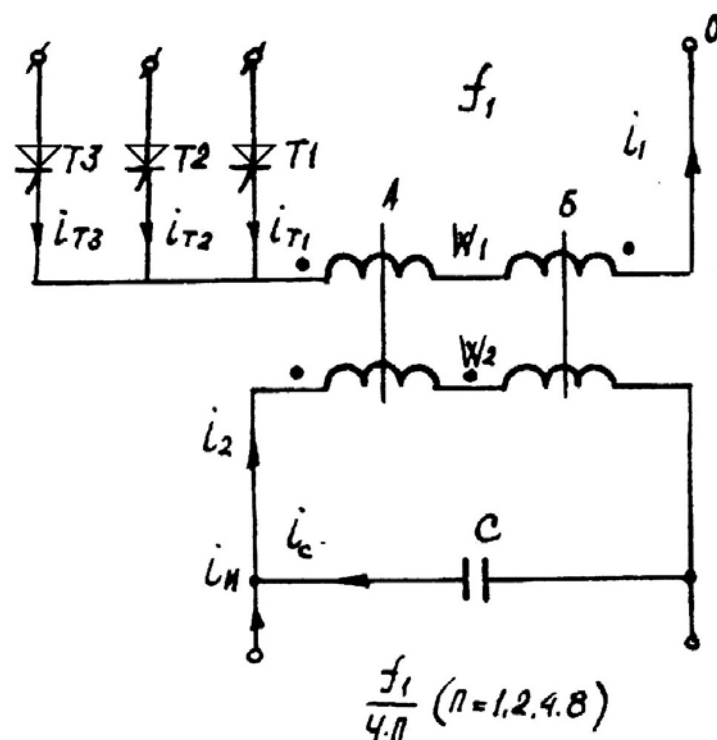


Рис 1.Электрическая схема делителей частоты в 4, 8, 16,32 раза

Если сигнал управления тиристором изменяется с частотой в два раза меньшей частоты напряжения питающей сети, то к первичной обмотке делителя будет приложено напряжение, основная гармоника которого изменяется с частотой управляющего сигнала, т.е. в два раза меньшей частоты питающей сети. Благодаря встречному соединению первичных обмоток делителя, по отношению к обмоткам возбуждения, происходит неодинаковое насыщение ферромагнитных сердечников делителя. Колебательный контур его настраивается на частоту вдвое меньшую частоты изменения основной гармонике напряжения первичной обмотки делителя, т.е. на частоту, в четыре раза меньшую частоты питающей сети.

В результате автопараметрического резонанса, на выходе возникают мощные устойчивые колебания, с частотой, в четыре раза меньшей частоты питающей сети.

Электрическая схема ИГДЧ-8 остается без изменения, по сравнению со схемой МТДЧ-4, но меняются параметры колебательного контура и частота управляющего сигнала. В этом случае управляющий сигнал изменяется с частотой, равной 100 Гц. Если при подаче управляющего сигнала входное напряжение положительно, то тиристор открывается, в отрицательном полупериоде он закрывается, открывается тиристор и в повторном положительном полупериоде. Значит, в первых четырех полупериодах входного напряжения тиристор открывается всего два раза, а в следующих четырех полупериодах управляющий сигнал отсутствует и тиристор остается закрытым, и т.д.

Таким образом, напряжение питающей сети прикладывается к первичной обмотке делителя с частотой управляющего сигнала, основная гармоника которого будет изменяться с частотой 100 Гц, т.е. получается напряжение с частотой в восемь раз меньшей частоты входного напряжения.

С помощью этой схемы получается деление частоты входного напряжения в 16 (и 32) раза. Для этого управляющий сигнал подается к тиристорам с частотой 50Гц (25 Гц в случае деления в 32 раза).

В первых восьми полупериодах (шестнадцати) питающего напряжения тиристор открывается четыре раза (восемь раз), а в последующих восьми (шестнадцати) полупе-

риодах тиристор все время остается закрытым, и т.д. Таким образом, приложенное к первичной обмотке напряжение будет изменяться с частотой в восемь (шестнадцать и т.д.) раз меньшей, чем частота входного напряжения, а в выходном контуре произойдет деление частоты этого приложенного к обмоткам напряжения в два раза. В результате чего, на выходе получается напряжение с частотой 25 Гц, т.е. в 16 (32) раза меньшей частоты питающего напряжения.

В трехфазном МТДЧ для деления частоты изменяются продолжительности выпрямительных и инверторных режимов работы тиристоров Т1,Т2,Т3. Если сумма продолжительностей этих режимов будет равняться 4 периодам входного или одному полупериоду выходного напряжений, то схема будет работать как МТДЧ - 4. Если сумма продолжительностей этих режимов равна восьми периодам входного напряжения или одному полупериоду выходного напряжения, то частота выходного напряжения будет в восемь раз меньше, чем входного, т.е. схема будет работать как МТДЧ-8. Если же сумма продолжительностей этих режимов равна 16-ти периодам входного напряжения или одному полупериоду выходного напряжения, то частота выходного напряжения будет в 16 раз меньше, чем входного, т.е. схема будет работать как МТДЧ-16, и т.д.

Для составления математической модели МТДЧ-4, 8, 16, 32 с трехфазным входом, уравнения, описывающие установившийся режим работы делителя, составлены для случаев $W_1=W_2$, тиристоры приняты реальными [2]. ВАХ тиристора аппроксимирована нелинейным функциональным преобразованием с учетом прямого падения напряжения и тока утечки тиристора, кривые намагничивания сердечников А и В аппроксимированы тремя отрезками прямых и решены относительно искомым величин и представлены в безразмерной форме. Для первичной цепи:

$$\begin{aligned} L_0 \frac{di_{T2}}{dt} &= u_2 - u_{T2} + \frac{d\Phi_B}{dt} - \frac{d\Phi_A}{dt} - Ri_1 \\ L_0 \frac{di_{T3}}{dt} &= u_3 - u_{T3} + \frac{d\Phi_B}{dt} - \frac{d\Phi_A}{dt} - Ri_1 \\ \frac{d\Phi_A}{dt} &= u_1 - u_{T1} + \frac{d\Phi_B}{dt} - L_0 \frac{di_{T1}}{dt} - Ri_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Для колебательного контура

$$\begin{aligned} F_B &= 2i_2 - F_A \\ -i_1 &= -i_2 - F_A \\ L_2 \frac{di_2}{dt} &= \frac{d\Phi_A}{dt} + \frac{d\Phi_B}{dt} + u_c + R_2 i_2 \\ -u_c &= \frac{1}{C} \int i_c dt \quad i_c = i_2 - i_n \end{aligned} \quad (2)$$

Для цепи нагрузки

$$\begin{aligned} u_n &= u_c \\ L_n \frac{di_n}{dt} &= u_n - R_n i_n \\ F_A &= F_A(\Phi_A) \quad \Phi_B = \Phi_B(F_B) \\ u_{T1} &= u_{T1}(i_{T1}) \quad u_{T2} = u_{T2}(i_{T2}) \quad u_{T3} = u_{T3}(i_{T3}) \end{aligned} \quad (3)$$

где u_1, u_2, u_3 - входные синусоидальные трехфазные напряжения; Φ_A, Φ_B, F_A, F_B - магнитные потоки и намагничивающие силы сердечников А и Б; i_{T1}, i_{T2}, i_{T3} - токи через ти-

ристоры T_1, T_2, T_3 ; R_1, R_2 - активные сопротивления, учитывающие активные потери в первичной и колебательном контурах; L_0 - индуктивность, включенная последовательно с тиристорами для обеспечения устойчивости математической модели тиристоров; L_2 - индуктивность, пропорциональная магнитному потоку рассеяния; i_c, i_2, i_n - токи через емкость, колебательный контур и нагрузки; u_{T1}, u_{T2}, u_{T3} напряжения на тиристорах.

На рис.2, приведен сигнальный граф МТДЧ с трехфазным входом. Устойчивая работа модели обеспечивается присутствием в одном контуре нечетного числа вершин, использованием интегрирования и дифференцирования в одном контуре, и тем, что хотя бы один интегратор является общим для нескольких контуров и т.п. Вершины графа соответствуют операционным усилителям, на входе получают искомые величины, а на выходе знаки этих величин инвертируются. Условия устойчивости, кроме приведенного частного случая, проверены для всех моделируемых устройств - регуляторов и стабилизаторов напряжения, умножителей частоты, преобразователей и ряда инверторов.

В математической модели учтено, что когда тиристоры T_1, T_2, T_3 работают в режиме выпрямления, то энергия накапливается в магнитном поле дросселей. Когда же выпрямительный режим прекращается, наступает инверторный режим, т.е. прекращается поступление энергии от сети в цепь, запасенная же энергия должна возвращаться в сеть. В это время тиристоры должны открываться в отрицательный полупериод входного напряжения, чтобы создать путь для прохождения тока за счет запасенной энергии. При этом, по условию устойчивого деления или же по той причине, что ток и магнитный поток в цепи с индуктивностью не могут изменяться скачком, тиристоры должны оставаться открытыми поочередно в отрицательные полупериоды входного напряжения.

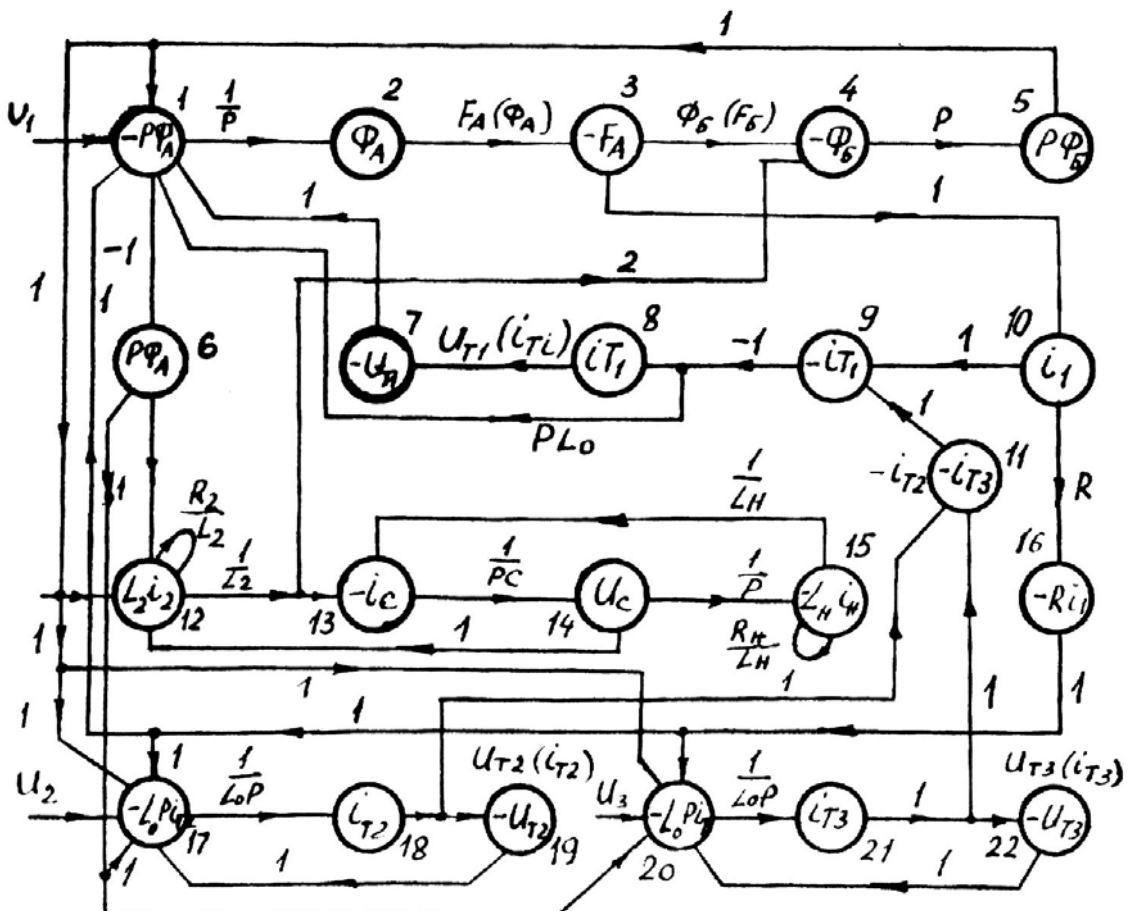


Рис. 2. Структурная схема математической модели делителей частоты

Тогда ток в цепи дросселей будет уменьшаться по экспоненциальному закону, для чего необходимо, чтобы продолжительность инверторного режима была больше, чем выпрямительного режима.

Математическая модель, составленная с учетом вышеизложенных условий универсальна, с изменением значений емкости «С» и входного напряжения легко можно перейти от делителя в 4 раза к делителю в 8,16 раз с трехфазным входом. С исключением тиристоров «Т2» и «Т3» удобно переходить к МТДЧ с однофазным входом.

На рис.3 приведены области устойчивого деления трехфазного МТДЧ-4, снятые на модели (сплошные линии) и экспериментально (пунктирные линии), с учетом зон затягивания деления.

При исследовании областей существования устойчивого деления МТДЧ в режиме холостого хода, наблюдались автоколебания у правой границы области. При переходе делителей от режима холостого хода к режиму нагрузки, автоколебания уменьшаются и при значениях сопротивления нагрузки меньших половины номинальной вообще исчезают. По левой границе области и в верхней части ее имеется зона затягивания. Эта зона характерна тем, что устойчивые субгармонические колебания существуют только тогда, когда делитель в процессе его работы в некотором режиме переходит в эту область при скачкообразном изменении величин значения входного напряжения и сопротивления конденсатора колебательного контура.

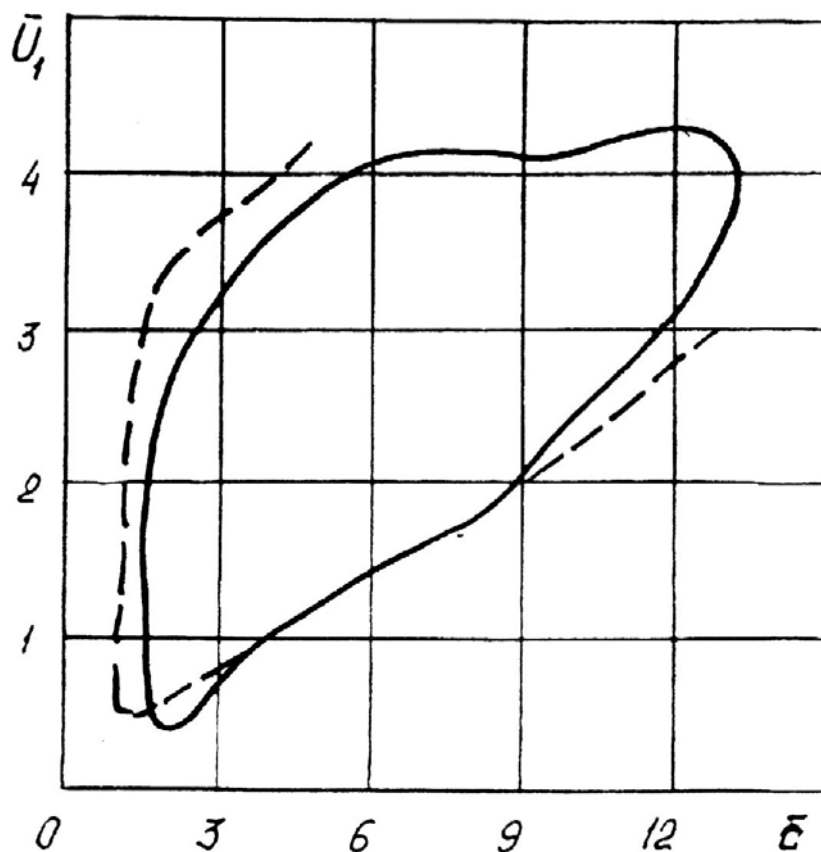


Рис.3.Области устойчивого деления преобразователя частоты.

Если же отключить делитель от сети во время работы его в зоне затягивания, то при повторном включении в сеть колебания на выходе не возбуждаются.

Наиболее мощные субгармонические колебания в МТДЧ возникают вблизи левой границы, поэтому при проектировании таких делителей частоты рабочий режим

следует выбирать при меньших значениях сопротивления емкости и соответствующих этому сопротивлению значениях входного напряжения, определяемых из рис.3.

1. *Абдалов Ш.И.* Моделирование параметрического стабилизатора напряжения с взаимно ортогональными магнитопроводами. «Электричество» №8, М-ва, 1997.
2. *Абдалов Ш.И.* «Моделирование тиристоров». «ЗТП», №5, Баку, 1971, с.4-8.
3. *Абдалов Ш.И., Косенко В. Л.* и др. «Математическое моделирование ферромагнитно-тиристорного делителя частоты в восемь раз». «ЗТП», №3, Баку, 1970 с. 4-7.

UNIVERSAL TEZLİK BÖLƏNİNİN RİYAZİ MODELƏRİ

ABDALOV Ş.İ.

4, 8, 16, 32 dəfə universal maqnit- tiristor tezlik böləninin elektrik sxemi verilir. Modelin dəyanətliliyi şərtini nəzərə almaqla 3 fazalı tezlik böləninin universal riyazi modelinin siqnal qrafı qurulmuşdur. Modelin işinin dəyanətliyi, hər bir konturda iştirak edən əməliyyat gücləndiricilərinin (ƏG) sayının tək olması, differensiallamaq və inteqrallamaq əməliyyatlarının bir konturda yerinə yetirilməsi, yaxud bir inteqrallayıcının bir neçə konturda ortaqlanması ilə yerinə yetirilir. Elektroenerji çevirməsinin gecikmə zonası və parametrik bölmənin yaranma oblastı təyin edilmişdir.

UNIVERSAL MATHEMATICAL MODELS OF FREQUENCY DIVIDERS

ABDALOV Sh.I.

The electrical circuit diagram of universal magnet - thyristor frequency divider with division factor 4, 8, 16, 32 is given. By taking into account the function stability of the model the signal graph of the universal mathematical model of three - phase frequency dividers has been carried out. The function stability of the model is provided by means of odd number operational amplifiers (OA) in each contour. Differentiation and integration are carried out in one contour or may one integrator be used for all contours. The existence range of parametric division and delay zone of the converter are also defined.