

FTAMP 45.03.03

Т.С. Жүсіп¹ – негізгі автор, | ©
А.А. Омарова², А.О. Жанпейісова³, Н.Ш. Абдлахатова⁴

¹Техн. ғылым. канд., доцент, ²Магистр, аға оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-8131-2994>, ²<https://orcid.org/0000-0001-5663-4414>;³<https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>, ⁴<https://orcid.org/0000-0003-1285-2684>М.Х. Дулати атындағы Таразөңірлік университеті
Тараз қ., Қазақстан¹zhusip@mail.ru; ²ardak_omarova@mail.ru; ³abdlakhatova@list.ru;⁴zhanpeisova@mail.ru<https://doi.org/10.55956/XATB1105>

ИНДУКТИВТІ-СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ТҮРЛЕНДІРГІШТІ ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргіш пен көпір түрлендіргіші негізінде сыйымдылықты энергияны сақтаудың ұтымды қорек схемасын таңдау мәселелері қарастырылған. Сондай-ақ, қосымша электромагниттік параметрлерді ескеруге және негізгі шығындарды есептеуге мүмкіндік беретін жоғары вольтты жоғары жиілікті трансформатордың нақтыланған моделі ұсынылған. Өзірленген модель негізінде электрмен жабдықтау схемалары оңтайландырылған. Бір цикліді түрлендіргішті, итергіш-түрлендіргішті, көпір түрлендіргішті және индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргіш пен көпір түрлендіргішті модельдеу жүргізілген. Соның негізінде электрмен жабдықтау тізбектері оңтайландырылған.

Тірек сөздер: транзисторлық инвертор, индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргіш, конденсатор, зарядтау уақыты.



Жүсіп, Т.С. Индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргішті зерттеу [Мәтін] / Т.С. Жүсіп, А.А. Омарова, А.О. Жанпейісова, Н.Ш. Абдлахатова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2021. – №2(72). – Б.106-112.
<https://doi.org/10.55956/XATB1105>

Кіріспе. Жоғары кернеулі жоғары жиілікті түрлендіргіштер қазіргі таңда үлкен қызығушылық тудырады. Жоғары жиілікті трансформаторлық-жартылай өткізгішті қоректендіру көздерін зерттеу кезінде индуктивті модуль - трансформатордың барлық құрылғылардың жұмысына қосымша параметрлерінің әсерін ескеру мәселесі туындады. Мұндай модульдердің жұмыс сипатына байланысты бірқатар ерекше белгілері бар. Резонанстық жүйелердегі жүктеменің шамасы нақты қысқа тұйықталудан жүктемеге дейін кеңінен өзгереді. Сондықтан зарядтағыш пен индукциялық жылытуға арналған кешеннің жұмысы жоғары вольтты модульдің шығындарын қарастыруды қажет етеді. Сондай-ақ, олардың жиілігі артқан сайын, бүкіл құрылғының жұмысына әсері де артады [1].

Резонанстық трансформаторлық-жартылай өткізгішті кешендердің оңтайлы схемасын таңдау электр қондырғыларын жобалау процесінің маңызды бөлігі болып табылады. Жоғары кернеуі бар жоғары жиілікті инверторлар электр қуатын (20 кВт дейін) жинайтын аз қуатты кешендер

үшін тиімді. Мұндай құрылғылар индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргіштердің көмегімен жүзеге асырылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Жоғары жиілікті трансформатор-жартылай өткізгішті қоректендіру көздерін зерттеу кезінде индуктивті модуль параметрлерінің жалпы құрылғыға әсерін ескеру қажет, өйткені олардың жұмыс принципі бойынша бірнеше ерекше қасиеттері бар. Резонанстық жүйелерде жүктеме тізбегі параметрлерінің мәні жүктемеден қысқа тұйықталуға ауысатыны белгілі, бұл параметрлерге, резервтеу модуліндегі шығындарға айтарлықтай әсер етеді.

Модельдеу ортасы ретінде OrCad моделі таңдалды, оған магниттік ядросы бар индуктивті модульдің өзіндік моделі кіреді. Бағдарламаның магниттік тізбек параметрлерінің негізгі сипаттамаларына сәйкес функциялары бар [2]. Алайда, оған бірнеше кемшіліктер тән, яғни:

- модельдеу кезінде жүйеге техникалық әдебиеттерде кездеспейтін бірқатар параметрлер қажет, мысалы: гистерезиссіз магниттелу қисығының сипаты, қозғалғыштық коэффициенттері және олардың шекараларының серпімді орын ауыстыруы [3];

- модельдеу жиілік қасиеттерінің ескерілмеуі;

- индукция мәні қанығу индукциясынан аз болған кезде есептеулер дәлдігінің төмендеуі және т.б.

Аталғандарды негізге ала отыра және трансформатордың нақты параметрлерін және минималды шығыс кернеуін алу мүмкіндігін ескере келе, сыйымдылықтағы энергияны жинау үшін минималды зарядтау уақытында оңтайлы электр тізбегін таңдау жұмыстың мақсаты болып табылады.

Зерттеу нәтижелері. Қаралып отырған тақырып бойынша бірқатар жұмыстарды зерттеу жоғары жиілікті жоғары вольтты трансформатордың нақтыланған моделін құру қажеттілігін анықтады [4-5]. Демек, сәйкес трансформаторды есептеуді бастапқы бағдарлама жүзеге асырады.

Әрі қарай электрмен жабдықтау схемаларын оңтайландыру математикалық модельдеу негізінде жүзеге асырылды [6]. Зерттеу бір циклді индуктивті-сыйымдылықты түрлендіргішпен (ИСТ), итергішпен және көпір түрлендіргішімен жүргізілді. ИСТ схемасы ең ұтымды схема болды.

Индуктивтілік-сыйымдылық түрлендіргішін схемалық модельдеу кезінде келесі болжамдар жасалды: зарядтың ұзақтығы разряд уақытынан бірнеше есе көп болғандықтан, бұл процестер толығымен тәуелсіз деуге болады; сыйымдылықтың мәні коммутациялық сыйымдылықтан аз, бұл модельдеу уақытының ұзақтығын азайтады (1-сурет).

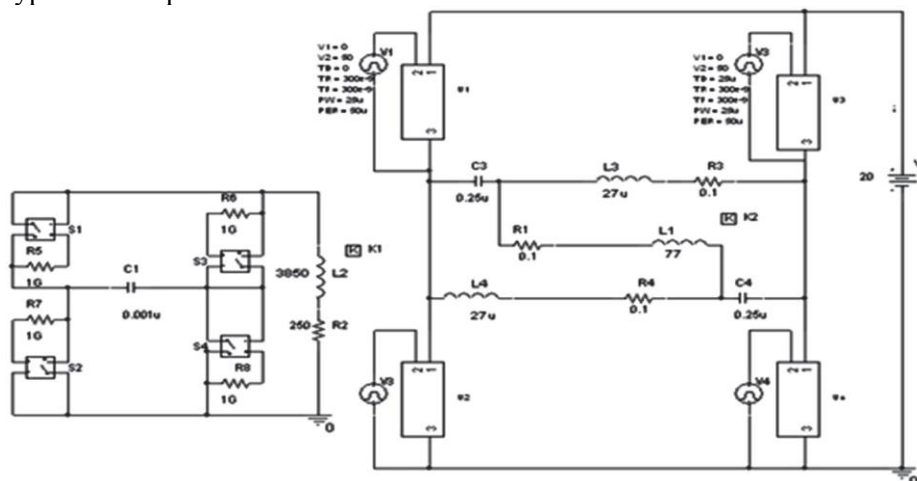
C_{n2} конденсаторы зарядының ұзақтығы T_n зарядының ұзақтығына тең. C_{n1} сыйымдылығы (модельдеудегі сыйымдылық) заряд сыйымдылығына тұрақты. C_{n2} және C_{n1} сәйкесінше U_2 , $C_{n1} \cdot U / 2$ және $C \cdot U / 2$ кернеуін зарядтау кезінде бірдей сыйымдылыққа ие.

Сондықтан зерттеу сыйымдылықтың максималды мәніндегі жад тізбектерінің вариация шарттарына сәйкес (толық) жүргізілді.

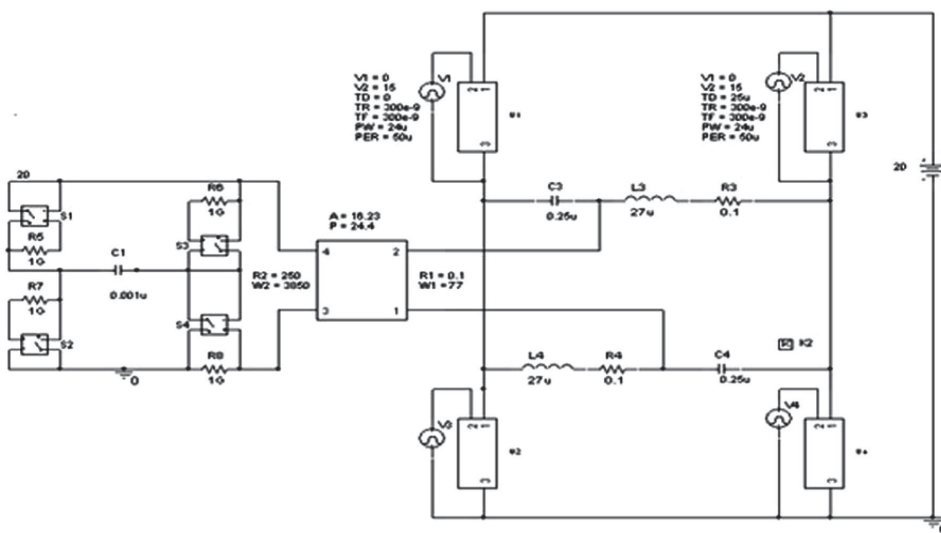
Есте сақтаудың әртүрлі схемалық шешімдері бірдей элементтердегі бірдей құрылымдық материалдарды қолдану арқылы орындалатындықтан, жадының мөлшері массаға пропорционал деп есептеледі.

ИСТ схемасы V6 көзінен қуат алады. Ұсынылатын ИСТ: 250 кФ номиналды мәні бар R3 және R4 белсенді кедергісі бар C3 және C4 конденсаторларының жұбы және 0,027 мГн L3 және L4 дроссельдері. Сәйкес келетін трансформатор дегеніміз L1 (77 бұрылыс) және L2 (3850 бұрылыс) екі дроссельдерінен, сондай-ақ номиналды мәні сәйкесінше 100 мΩ және 0,25

М тең R1 және R2 резисторларынан тұратын тізбек. K1 элементі сәйкес келетін трансформаторлық магниттік өткізгішті сипаттайды. Трансформатордың екінші орамына S1-S4 диодтарынан жасалған түзеткіш көпір қосылған. Көпірлі транзисторлық түрлендіргіштің принципіалды трансформаторлық моделімен түпнұсқалық сәйкес келетін ИСТ бар схемасы 2-суретте келтірілген.

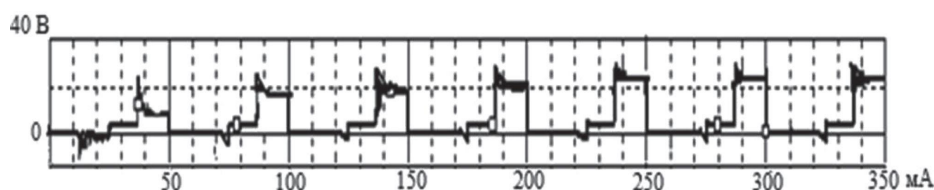


Сурет 1. Индуктивтілікті сыйымдылықты түрлендіргіші бар инвертор моделі



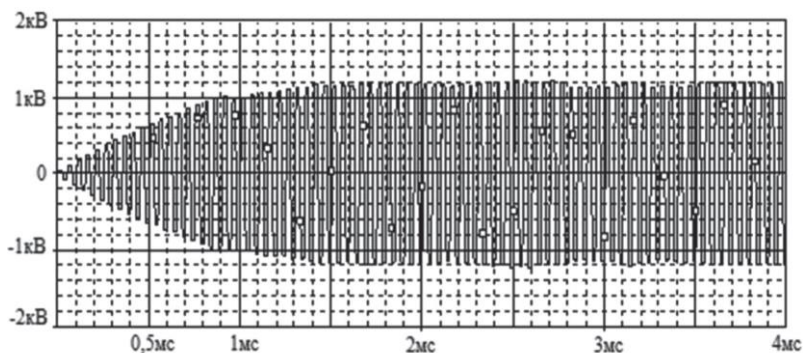
Сурет 2. ИСТ және трансформатордың өзіндік моделі бар модель

Тізбекті модельдеу нәтижесінде алынған сипаттамалар 3-суретте берілген. Екі тізбек үшін де басқару сигналдары бірдей.

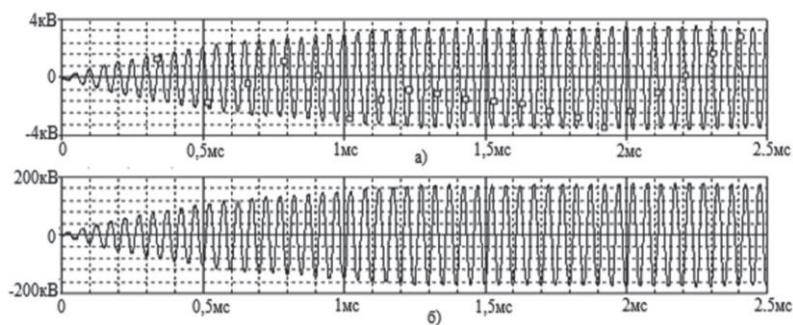


Сурет 3. U1 транзисторындағы кернеу

Нәтижелерді талқылау және қорытындылар. Жоғарыда көрсетілген тәуелділіктерге сәйкес келесі қорытындылар жасауға болады: трансформатордың L1 орамасындағы кернеу транзисторлық ажыратқыштардағы кернеуден 200 есе жоғары (сәйкесінше 4 кВ және 23 В); C3 конденсаторының заряды 0,004 с; екі тізбек үшін трансформатор орамдарының кернеу қисықтарының пішіні синусоидалыға жақын, трансформация коэффициенті 50, кернеу амплитудасы 0,5%-дан аз; C1 конденсаторындағы кернеу қисығы экспоненциалды пішінге ие және C3 конденсаторындағы ток импульс заңына сәйкес өзгереді (4-5-суреттер).



Сурет 4. C3 коммутациялық конденсатордағы кернеу

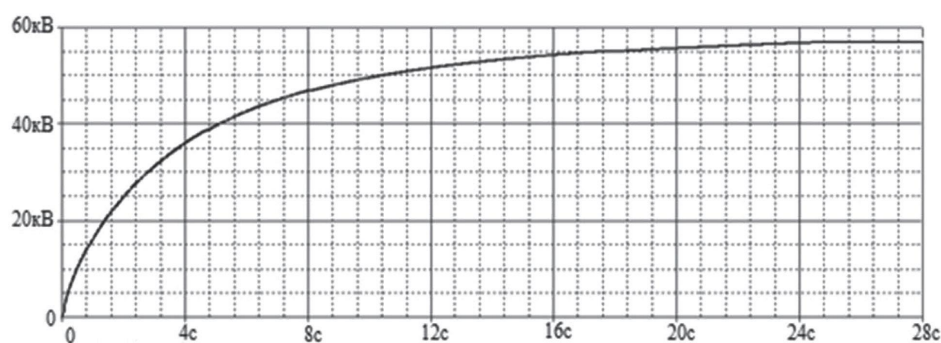


Сурет 5. Кернеу: а) трансформатордың бастапқы орамасы; б) трансформатордың екінші реттік орамасы.

6-суретке сәйкес C1 конденсаторының 57 кВ-қа дейінгі зарядтау уақыты 21 с құрайды. Инвертордың бөліктеріндегі ток пен кернеу сипатының ұқсастығы тербелмелі контурдың табиғи жиілігінің тұйықталған режимде ауысу жиілігінен, ал керісінше ашық ажыратқыштармен асып кетуімен байланысты.

$$-I_n(p) \left(\frac{1}{pC_1} + pL_3 \right) + pI_2(p)(L_3 + 2L_1) = 0$$

$$I(p) \left(\frac{1}{pC_1} + 2pL_1 I_2(p) \right) = U_1(p)$$



Сурет 6. Индуктивті сыйымдылықты энергия кернеуі

$$2p^2L_3L_1C_1 + L_3 + 4L_1 = 0 \tag{1}$$

Таңдалған шамалар үшін:

$$w_1^2 = \frac{L_3 + 4L_1}{2L_3L_1C_1} \tag{2}$$

Ажыратылған энергияны сақтау құрылғысының теңдеуі мына түрде болады:

$$2p^2L_3L_1(2C_1 + C_3) + (L_3 + 4L_1) = 0 \tag{3}$$

6-суреттегі көрсетілген график бойынша кернеудің күшеюі 2900 мәнге ие.

Зерттеу нәтижелері төмендегі кестеде көрсетілген.

Кесте

Зарядтау уақыты мен шығыс кернеуінің екі критерийін оңтайландырумен зарядтағыштардың негізгі параметрлері

Түрі	Кернеу U , кВ	Транзистор кернеуі U_T , В	Транзистор тоғы I_T , А	Зарядтау уақыты T_3 , с
Көпір схемасы	48,0	1200,0	70,0	43,0
Индуктивті түрлендіргішті көпір схемасы	57,31	23,0	185,0	21,61
Бір жақты тізбек	37,12	250,0	139,0	200,0
Екі жақты тізбек	53,0	1200,0	163,0	188,0

Кестеге сәйкес T_3 сақтау конденсаторының зарядтау уақыты және конденсатордағы жоғары кернеу (транзисторлық ажыратқыштардағы кернеу 50 есе аз) аз болғандықтан индуктивті конденсатор схемасы ең тиімді болып табылады. Зерттеу барысында кернеу күшейту коэффициенті 10^4 құрады.

Индуктивті конденсатор түрлендіргіші бар көпір тізбегі максималды сақтау кернеуі мен зарядтау уақытының екі критерийін оңтайландыру кезінде айтарлықтай артықшылықтарға ие. Мұндай түрлендіргішті пайдалану шығу кернеуінің коэффициентін 10^4 есеге арттырып қана қоймай, конденсатордың зарядталу уақытын қысқартады.

Әдебиеттер тізімі

1. Веников, В.А. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах [Текст]: учебник / В.А. Веников, В.И. Идельчик, М.С. Лисеев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 214 с.
2. Сергеевков, Б.Н. Электрические машины, трансформаторы [Текст]: учебник / Б.Н. Сергеевков, В.М. Киселев, Н.А. Акимова / под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 1989. – 352 с.
3. Климаш, В.С. Вольтодобавочные устройства для компенсации отклонений напряжения и реактивной энергии с амплитудным, импульсным и фазовым регулированием [Текст]: учебник / В.С. Климаш. – М.: Владивосток: Дальнаука, 2002. – 140 с.
4. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций [Текст]: учебник / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
5. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст]: учебник / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1987. – 832 с.
6. Лизунова, С.Д. Силовые трансформаторы: справочная книга [Текст]: учебник / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат, 2004. – 616 с.

Материал редакцияға 08.06.21 түсті.

Т.С. Жүсіп, А.А. Омарова, А.О. Жанпейісова, Н.Ш. Абдлахатова

Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНДУКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос выбора наиболее рациональной схемы источника питания емкостного накопителя энергии на основе последовательного мостового инвертора с индуктивно-емкостным преобразователем. Наибольший интерес представляют высокочастотные преобразователи с повышенным коэффициентом усиления по напряжению. Предложена уточненная модель высоковольтного высокочастотного трансформатора, позволяющая учесть дополнительные электромагнитные параметры и рассчитать потери в сердечнике. На основе разработанной модели оптимизирована схема источников питания с однотактным, двухтактным, мостовым и мостового с индуктивно-емкостным преобразователями.

Ключевые слова: транзисторный инвертор, индуктивно-емкостной преобразователь, накопительный конденсатор, время заряда.

T.S. Zhusup, A.A. Omarova, A.O. Zhanpeisova, N.Sh. Abdlakhatova

Taraz regional university named after M. Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

RESEARCH OF THE INDUCTIVE POWER CONVERTER

Abstract. The article discusses the issue of choosing the most rational power supply circuit for a capacitive energy storage based on a series bridge inverter with an inductive-capacitive converter. Of greatest interest are high-frequency converters with increased voltage gain. A refined model of a high-voltage high-frequency transformer is proposed, which allows taking into account additional electromagnetic parameters and calculating core losses. On the basis of the developed model, optimization of power supply circuits was carried out. A study and modeling of a single-cycle converter, a push-pull converter, a bridge converter and an inductive-capacitive bridge converter were carried out.

Keywords: transistor inverter, inductive-capacitive converter, storage capacitor, charging time.

References

1. Venikov V.A., Idelchik V.I., Liseev M.S. Regulirovanie naprjazhenija v jelektrojenergeticheskikh sistemah [Voltage regulation in electric power systems]: textbook. - Moscow: Energoatomizdat, 1985. - 214 p. [in Russian].
2. Sergeenkov B.N., Kiselev V.M., Akimova N.A. Elektricheskie mashiny transformatory [Electrical machines transformers]: textbook: Higher school, 1989. - 352 p. [in Russian].
3. Klimash V.S. Voltodobavochnye ustroystva dlya kompensatsii otklonenii i reaktivnoi energii s amplitudnym, impulsnym i fazovym regulirovanіem [Booster devices for compensating voltage and reactive energy deviations with amplitude, pulse and phase control]: textbook / V.S. Klimash – Moscow: Vladivostok: Dalnauka, 2002. - 140 p. [in Russian].
4. Rozhkova L.D., Kozulin V.S. Elektrooborudovanie stansii i podstansii [Electrical equipment of stations and substations]: textbook - M : Energoatomizdat, 1987. - 648 p. [in Russian].
5. Voldek A.I. Elektricheskie mashiny [Electric cars]: textbook / A.I. Voldeck. - Leningrad: Energy, 1987. - 832 p. [in Russian].
6. Lizunova S.D., Lokhanina A.K. Silovye transformatory: spravochnaya kniga [Power transformers: reference book] : textbook ed. / S.D. Lizunova, A.K. Lokhanin. - Moscow: Energoizdat, 2004. - 616 p. [in Russian].