

8. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya sistem / per. s angl. – M.: «Radio i svyaz», 1991. – 224 s.

9. Saati T. Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh ierarkhiy / per. s angl. – M.: Izdatelstvo LKI, 2008. – 360 s.

10. Polkhovskaya N.M., Minaev Yu.L., Khaykin M.B., Belousova L.G. Ispolzovanie metoda analiza ierarkhiy dlya kontrolya kachestva stomatologicheskoy pomoshchi // Natsionalnaya assotsiatsiya uchenykh. – 2015. – No. 10-1 (16). – S. 167-170.



УДК 621.31

А.А. Багаев, С.О. Бобровский
A.A. Bagayev, S.O. Bobrovskiy

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО RLC-КОНТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТОРА ТВЧ УСТАНОВКИ

SUBSTANTIATION OF CHARGER SCHEME OF STORAGE CONDENSER OF OSCILLATORY RLC CONTOUR TO DETERMINE THE PARAMETERS OF HIGH FREQUENCY CURRENT INSTALLATION INDUCTOR

Ключевые слова: ТВЧ установка, индукционный нагрев, зарядное устройство (ЗУ), схемы ЗУ, зарядный процесс.

Эффективным способом упрочнения поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий и кормоприготовительных машин является индукционный нагрев токами сверхвысокой частоты. Корректная работа высокочастотной индукционной установки без срабатывания устройств защиты требует согласования параметров индуктора и источника питания в резонансном режиме. Вне зависимости от типа используемых тиристорных или транзисторных схем источника питания решение проблемы указанного согласования не является тривиальным и представляет собой достаточно сложную задачу. Решение задачи во многом достигается путем определения параметров индуктора, используемых для статически достоверной оценки величины тока в индукторе, с целью оптимизации режимов высокочастотного нагрева деталей. Данная работа непосредственно связана с опреде-

лением активного R и индуктивного сопротивлений X_L индуктора. Методика определения сопротивлений индуктора подразумевает в качестве обязательного этапа зарядку накопительного конденсатора с последующим его разрядом на исследуемый индуктор с активным сопротивлением R и индуктивностью L . В работе производится обоснование и выбор типа зарядного устройства с наилучшими техническими характеристиками для зарядки конденсатора-источника электрической энергии для определения параметров индуктора ТВЧ установки. Нагрузкой указанной зарядной емкости является колебательный RLC-контур. В соответствии с существующей классификацией проанализированы схемы зарядных устройств. Установлены критерии технико-экономического и энергетического совершенства зарядного устройства. Выбрано простое для реализации зарядное устройство при выполнении условия максимума установленных выше критериев. Наиболее предпочтительным вариантом является схема с токоформирующим дросселем, включенным в зарядный контур.

Keywords: *high frequency current (HFC) installation, induction heating, charger (C), charger schemes, charging process.*

An efficient way of hardening surfaces of working bodies of tillage tools and feed preparing equipment is induction heating by ultra-high frequency currents. Correct operation of HFC induction installation without operation of protective devices requires the coordination of inductor parameters and the power supply in resonant mode. Regardless of the type of the thyristor or transistor schemes of the power supply the solution of the problem of the specified coordination is not trivial and represents rather difficult task. The solution in many respects is reached by the determination of the parameters of the inductor used for statically reliable assessment of current magnitude in the inductor for the purpose of optimization of the modes of high-frequency heating of details. This work is directly connected with the definition of

active R and the inductive resistance X_L of the inductor. The technique of the determination of the inductor resistance means as an obligatory stage charging of the accumulative condenser with its subsequent discharge to the studied inductor with active resistance of R and inductance of L . This work deals with the substantiation and choice of the charger type with the best technical characteristics to charge the condenser source of electric energy for the determination of the HFC installation inductor parameters. The load of the specified charger is the oscillatory RLC -contour. According to the existing classification schemes, the schemes of chargers are analyzed. The criteria of technical, economic and power perfection of the charger are identified. The charger, simple for realization, when performing a condition of a maximum of the identified criteria is chosen. The most preferable option is the scheme with a current forming inductor included in a charging contour.

Багаев Андрей Алексеевич, д.т.н., проф., зав. каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: Bagaev710@mail.ru.

Бобровский Сергей Олегович, магистрант, каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: sergej.bobrovskij.95@mail.ru.

Bagayev Andrey Alekseyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. E-mail: bagaev710@mail.ru.

Bobrovskiy Sergey Olegovich, master's degree student, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. E-mail: sergej.bobrovskij.95@mail.ru.

Введение

Увеличение срока эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов без замены или ремонта является актуальной проблемой. Задача решается путем упрочнения режущих поверхностей сошников различного типа путем наплавки элементов из сталей с увеличенной твердостью или упрочнения рабочей поверхности иными способами, например, борированием. Названные процессы используются как при изготовлении, так и в процессе ремонта рабочих органов.

В настоящее время эффективным способом упрочнения поверхностей рабочих органов является индукционный нагрев.

Качество упрочненной поверхности сошника зависит от мощности переданной обрабатываемой детали индуктором ТВЧ (токи высокой частоты) установки и времени нагрева.

Работами, направленными на упрочнение деталей средствами индукционного нагрева, в частности, занимается Алтайский ГАУ.

Для оптимизации процессов упрочнения поверхностей рабочих органов требуется инструментальный контроль мощности передаваемой нагреваемой детали в функции тока в индукторе и времени нагрева.

В распоряжении Алтайского ГАУ находится ТВЧ установка ЭЛСИТ 40-70/100 мощностью 100 кВт и рабочим диапазоном резонансных частот от 40 до 70 кГц [1]. Установка в индикативном режиме способна предоставлять информацию о токовой нагрузке исключительно в процентах. Информацию о токе в индукторе в амперах установка ЭЛСИТ не предоставляет.

При этом для индукторов и деталей различной конфигурации ток, измеренный в процентах на индикаторе ТВЧ установки, и реальный ток будут различными. В связи с этим контролировать реальный ток, визуализируемый индикатором установки ЭЛСИТ в процентах, и, соответственно, мощность передаваемую индуктором нагреваемой детали, не представляется возможным.

В работах [2-7] предложены датчик для определения тока в индукторе, методика его измере-

ния, учтен поверхностный эффект, изложена методика калибровки амперметра.

Вместе с тем процедура калибровки требует знания действительного значения тока в индукторе. Точный расчет тока в индукторе известными методами достаточно сложен [8-10]. По этой причине в инженерной практике применяют упрощенные экспериментально-аналитические методы, обеспечивающие достаточную погрешность и подразумевающие знание мощности в «горячем режиме» нагрева параметров индуктора и заготовки, $\cos\phi$, КПД [11].

Работа непосредственно связана именно с определением активного R и индуктивного сопротивления X_L индуктора. Методика определения сопротивлений индуктора, базирующаяся на анализе осциллограмм разряда конденсатора в колебательном RLC-контуре, изложена в работах [12, 13] и включает в качестве обязательного этапа зарядку накопительной емкости C с последующим ее разрядом на исследуемый индуктор с активным сопротивлением R и индуктивностью L .

Процесс зарядки конденсатора представляет собой определенную научно-техническую проблему.

Целью работы является обоснование и выбор зарядного устройства, обладающего наилучшими техническими характеристиками для зарядки конденсатора в колебательном RLC-контуре в процессе определения параметров индуктора ТВЧ установки.

Задачи, решаемые для достижения цели:

- анализ и классификация схем зарядных устройств;
- выявление критериев технико-экономического и энергетического совершенства зарядного устройства;
- выбор простого для реализации зарядного устройства при выполнении условия максимума установленных выше критериев.

Классификация зарядных устройств. Основной задачей зарядного устройства является формирование рациональных временных зависимостей токов во входном и зарядном контурах [14].

Первостепенным признаком, по которому реализуется деление зарядных устройств, является признак регулируемости зарядного процесса, которым определяется различие процессов в энергетической части зарядного устройства. В соответствии с названным признаком зарядные устройства (ЗУ) подразделяются на устройства с нерегулируемым и регулируемым зарядным процессом. В ЗУ с регулируемым зарядным процессом применяют время-импульсные или амплитудно-импульсные методы регулирования и подразумевают наличие соответствующих блоков управления, что усложняет и удорожает ЗУ и в настоящей работе не рассматриваются. Наиболее простыми являются нерегулируемые зарядные устройства, в силу чего именно этот тип ЗУ рассматривается в дальнейшем в соответствии с принципом достаточности для достижения поставленной цели.

С другой стороны, неуправляемые ЗУ подразделяются на устройства с жесткой выходной характеристикой и устройства с дозаторами энергии [14].

Основу ЗУ с нерегулируемым зарядным процессом составляют неуправляемые трансформаторы, выпрямители (В) и инверторы (И) с жесткой выходной характеристикой, а также токоформирующие элементы (ТФЭ), назначением которых является формирование токов в цепях. При этом тип ТФЭ оказывает непосредственное влияние на сочетание технико-экономических показателей ЗУ.

На рисунке 1 представлены схемы ЗУ на базе преобразователей с жесткими выходными характеристиками с различными токоформирующими элементами.

На рисунке 2 представлена схема единого для схем на рисунке 1 базового преобразователя, представляющего собой транзисторный преобразователь постоянного напряжения в постоянное. Схема на рисунке 2 является в известной мере идеализацией.

Простейшим ТФЭ является резистор (рис. 1а), включенный последовательно в цепь заряда конденсатора [14-17]. В схемах на рисунке 1б токо-

формирующий дроссель включен в зарядный контур, а на рисунке 1 в – в цепь переменного тока. На схемах рисунков 1 г, д показано применение комбинации емкостного и индуктивного ТФЭ, включенных в цепь переменного тока. На рисунке 1е представлено сочетание емкостного ТФЭ в цепи переменного тока и индуктивного в зарядном контуре.

Схемы на рисунке 2 соответствуют ЗУ с жесткой выходной характеристикой.

Зарядные устройства с так называемыми *дозаторами энергии* в данной работе не рассматриваются, т.к. выполнены на базе управляемых полупроводниковых приборов со всеми вытекающими из этого последствиями.

Критерии технико-экономической эффективности. Наряду с массогабаритными характеристиками основными факторами, влияющими на основные технико-экономические показатели ЗУ, являются КПД и коэффициент использования ис-

точника питания, предельным значением которых является единица [14].

Общий КПД ЗУ η представляет собой произведение КПД входного контура преобразователя и КПД зарядного контура.

Коэффициент использования источника питания определяется выражением:

$$k_{И} = \frac{P_{СР.Н}}{P_{МАХ ПОТР.}}$$

где $P_{СР.Н}$ – средняя мощность, передаваемая в конденсатор;

$P_{МАХ ПОТР.}$ – максимальная передаваемая мощность.

Методики определения η и $k_{И}$ изложены в [14].

Анализ технико-экономических характеристик ЗУ. С целью сопоставления различных вариантов нерегулируемых ЗУ с жесткой выходной характеристикой, представленных на рисунке 1, расчетные показатели сведены в таблицу.

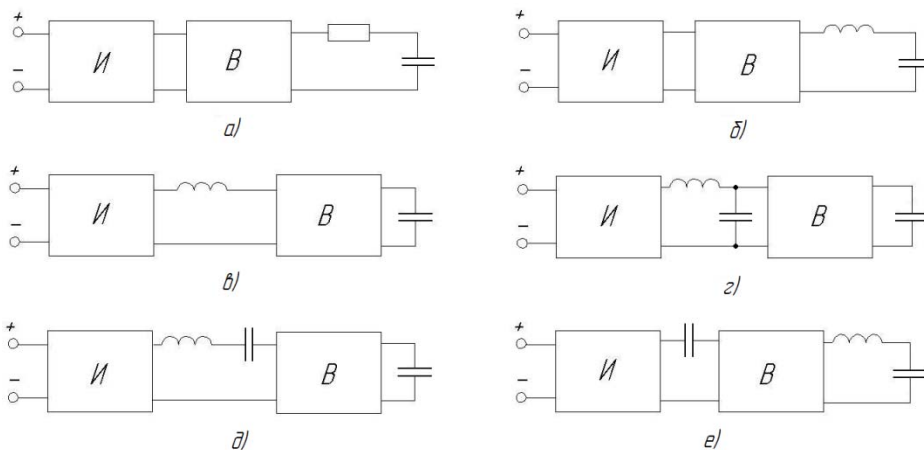


Рис. 1. Схемы нерегулируемых ЗУ на базе преобразователей с жесткими выходными характеристиками с различными токоформирующими элементами [14]: И – инвертор; В – выпрямитель

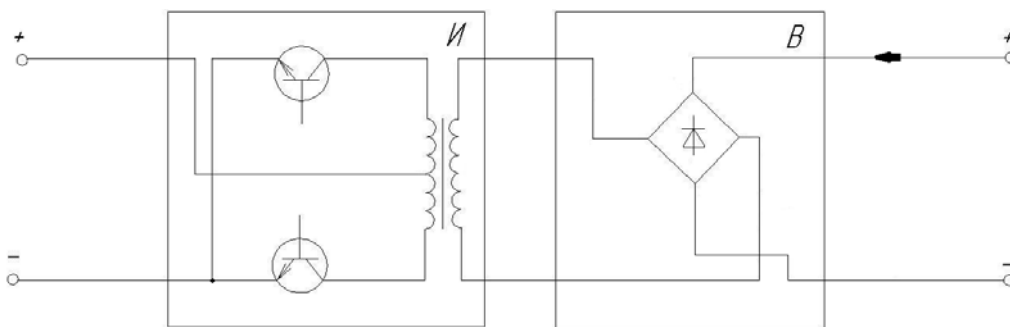


Рис. 2. Схема базового (идеального) преобразователя [14]

Таблица
Показатели зарядных устройств [8]

№ п/п	Схема	η	$k_{\text{И}}$
1	Рисунок 2	1	1
2	Рисунок 1а	0,39	0,57
3	Рисунок 1б	0,89	0,64
4	Рисунок 1в	0,89	0,22
5	Рисунок 1г	0,94	0,6

Анализ результатов таблицы позволяет утверждать следующее. Сравнение ЗУ с нерегулируемым процессом заряда показывает, что схема на рисунке 1в обладает худшими характеристиками. Наиболее близкой к идеальной является схема, изображенная на рисунке 1б.

Заключение

Для решения поставленной в данной работе проблемы применимы схемы, изображенные на рисунках 1 а, б, г, как наиболее простые для изготовления и дешевые. Вместе с тем наиболее предпочтительным вариантом является схема с токоформирующим дросселем, включенным в зарядный контур.

Библиографический список

1. ЭЛСИТ. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: URL: <https://ЭЛСИТ.РФ> (дата обращения: 13.11.2017).
2. Бобровский С.О. Датчик тока высокочастотной индукционной установки для предприятий Барнаула // Молодежь – Барнаулу: матер. XVII-XIX городской науч.-практ. конф. молодых ученых. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2018. – Ч. XIX. – С. 551-554.
3. Бобровский С.О., Багаев А.А. Информационно-измерительная система для измерения тока в индукторе высокочастотной индукционной установки // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. матер.: в 2 кн. / XIII Междунар. науч.-практ. конф. (15-16 февраля 2018 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 154-155.
4. Бобровский С.О. Методика определения истинного значения тока в индукторе высокочастотной установки индукционного нагрева // Вестник молодежной науки Алтайского государственного

аграрного университета: сб. науч. тр. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – № 1. – С. 54-57.

5. Багаев А.А., Бобровский С.О. Основные положения методики косвенного измерения тока в индукторе ТВЧ установки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (163). – С. 171-178.

6. Багаев А.А., Бобровский С.О. Влияние поверхностного эффекта на величину тока в индукторе ТВЧ установки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6 (164). – С. 186-192.

7. Бобровский С.О. Методика косвенного измерения тока индуктора ТВЧ установки // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – Режим доступа: URL: https://drive.google.com/file/d/11mJru0_zCkFf72qifo237Ti-M83a9Fm5/view (дата обращения 20.10.2018).

8. Слухоцкий А.Е. Индукторы / под ред. А.Н. Шамова. – Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1989. – 69 с.

9. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

10. Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А. и др. Установки индукционного нагрева / под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.

11. Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В., Файн В.Б. Электротехнология. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

12. Болотовский Ю.И., Гутин Л.И., Таназлы Г.И., Шуляк А.А. Измерение параметров индукторов установок индукционного нагрева на режимах, близких к номинальным // Силовая электроника. – 2005. – № 1. – С. 104-106.

13. Лазаревич З., Болотовский Ю.И., Гутин Л.И., Таназлы Г.И., Шуляк А.А. Об одном варианте практической реализации системы измерения параметров индукторов установок индукционного нагрева на режимах, близких к номинальным // Силовая электроника. – 2007. – № 4. – С. 78-80.

14. Булатов О.Г., Иванов В.С., Панфилов Д.И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей энергии. – М.: Радио и связь, 1986. – 160 с.

15. Воробьев А.А., Тонконогов М.П., Лузберг Е.И. и др. КПД зарядки емкостного накопителя // Известия вузов. Электромеханика. – 1968. – № 12. – С. 1303-1311.

16. Чиженко И.М., Бердянских Г.С. Зарядные устройства емкостных накопителей энергии. – Киев: Наукова думка, 1980. – 152 с.

17. Таназлы Г.И., Мунасыпов Р.А. Проектирование сложных систем заряда емкостных накопителей энергии // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16. – № 1 (46). – С. 133-142.

References

1. ELSIT [Elektronnyy resurs]. – Elektron. tekstovye dan. – Rezhim dostupa: URL: <https://ELSIT.RF> (data obrashcheniya: 13.11.2017).

2. Bobrovskiy S.O. Datchik toka vysokochastotnoy induktsionnoy ustanovki dlya predpriyatiy Barnaula // Molodezh – Barnaulu: materialy XVII-XIX gorodskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. – Barnaul: Izd-vo Alt. unta, 2018. – Chast XIX. – S. 551-554.

3. Bobrovskiy S.O., Bagaev A.A. Informatsionno-izmeritelnaya sistema dlya izmereniya toka v induktore vysokochastotnoy induktsionnoy ustanovki // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (15-16 fevralya 2018 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2018. – Kn. 2. – S. 154-155.

4. Bobrovskiy S.O. Metodika opredeleniya istinnogo znacheniya toka v induktore vysokochastotnoy ustanovki induktsionnogo nagreva // Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta: sbornik nauchnykh trudov. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2018. – No. 1. – S. 54-57.

5. Bagaev A.A., Bobrovskiy S.O. Osnovnye polozheniya metodiki kosvennogo izmereniya toka v induktore TVCh ustanovki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 5 (163). – S. 171-178.

6. Bagaev A.A., Bobrovskiy S.O. Vliyaniye povorkhnostnogo effekta na velichinu toka v induktore TVCh ustanovki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 6 (164). – S. 186-192.

7. Bobrovskiy S.O. Metodika kosvennogo izmereniya toka induktora TVCh ustanovki // V sb.: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova. – 2018 [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: https://drive.google.com/file/d/11mJru0_zCkFf72qIf0237Ti-M83a9Fm5/view (data obrashcheniya 20.10.2018).

8. Slukhotskiy A.Ye. Induktory / pod red. A.N. Shamova. – L.: Mashinostroenie. Leningr. otdnie, 1989. – 69 s.

9. Slukhotskiy A.Ye., Ryskin S.Ye. Induktory dlya induktsionnogo nagreva. – L.: Energiya, 1974. – 264 s.

10. Slukhotskiy A.Ye., Nemkov V.S., Pavlov N.A. i dr. Ustanovki induktsionnogo nagreva / pod red. A.Ye. Slukhotskogo. – L.: Energoizdat, 1981. – 328 s.

11. Basov A.M. Elektrotekhnologiya / A.M. Basov, V.G. Bykov, A.V. Laptev, V.B. Fayn. – M.: Agropromizdat, 1985. – 256 s.

12. Bolotovskiy Yu.I., Gutin L.I., Tanazly G.I., Shulyak A.A. Izmerenie parametrov induktorov ustanovok induktsionnogo nagreva na rezhimakh, blizkikh k nominalnym // Silovaya elektronika. – 2005. – No. 1. – S. 104-106.

13. Lazarevich Z., Bolotovskiy Yu.I., Gutin L.I., Tanazly G.I., Shulyak A.A. Ob odnom variante prakticheskoy realizatsii sistemy izmereniya parametrov induktorov ustanovok induktsionnogo nagreva na rezhimakh, blizkikh k nominalnym // Silovaya elektronika. – 2007. – No. 4. – S. 78-80.

14. Bulatov O.G. Poluprovodnikovye zaryadnye ustroystva emkostnykh nakopiteley energii / O.G. Bulatov, V.S. Ivanov, D.I. Panfilov. – M.: Radio i svyaz, 1986. – 160 s.

15. Vorobevev A.A., Tonkonogov M.P., Luzberg Ye.I. i dr. KPD zaryadki emkostnogo nakopitelya // Izvestiya vuzov. Elektromekhanika. – 1968. – No. 12. – S. 1303-1311.

16. Chizhenko I.M., Berdyanskikh G.S. Zaryadnye ustroystva emkostnykh nakopiteley energii. – Kiev: Naukova dumka, 1980. – 152 s.

17. Tanazly G.I., Munasyrov R.A. Proektirovaniye slozhnykh sistem zaryada emkostnykh nakopiteley energii // Vestnik UGAU. – 2012. – Т. 16, No. 1 (46). – S. 133-142.