

# ЕЛЕКТРИФИЦИРАНА И ЕЛЕКТРОНИЗИРАНА ЗАДВИЖВАЩА СТАНЦИЯ ЗА ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ПОЧВЕН КАНАЛ

## ELECTRONICALLY OPERATED TRACTION STATION FOR DEMONSTRATION SOIL CHANEL WITH A.C. ELECTRICAL DRIVES

Доц. д-р инж. Трифонов, А.  
Аграрен университет – Пловдив, България  
trifonov56@abv.bg

**Abstract:** The training stand "Soil channel" was created in Agricultural University – Plovdiv, department "Mechanization of agriculture". This stand is intended to conduct practical exercises with students from different specialties. It can be performed to demonstrate various types of working bodies of agricultural machinery, control and protection of three-phase asynchronous motors, determination of the traction effort of working bodies, adjustment of electronically operated control to a certain mode of operation, demonstration the work of electrical apparatus of high-current circuits. The stand is provided to be driven by electric drive station using metal track, with the possibility of stepless variation of working speed by frequency inverter, pick up and pull down mechanisms to emplacement the working bodies in transport position and in working position.

**Keywords:** ELECTRICAL DRIVE, SOIL CHANEL, STUDENT EDUCATION.

### 1. Увод

В катедра „Механизация на земеделието“ на Аграрния университет – Пловдив е създаден стенд „Почвен канал“, който е предназначен за провеждане на практически занятия по дисциплините „Земеделски машини“, „Електрозадвигване в земеделието“ и „Машинни елементи“.

С него могат да се извършват демонстрации на различни видове работни органи на земеделски машини, на отделни секции на такъв тип машини, управление и защита на трифазни асинхронни двигатели, защита на персонала от токови удари, определяне на предавателни отношения на механични предавки, определяне на теглителни усилия на работни органи, настройване на електронното управление за определен режим на работа, демонстриране на работата на електрическите апарати за управление на силнотокви електрически вериги и др.

В лабораторни условия могат да бъдат показани в работно състояние плужни тела за основна обработка на почвата, култиваторни секции за окопаване, загърляне, окопаване с внасяне на минерален тор, садачни секции от разсадосадачни и картофосадачни машини, секции от сеялки за точна сеитба и от редосеялки и други.

Осигурено е задвигване на стенда от електрифицирана задвижваща станция, използваща релсов път. При нея е предвидено безстепенно изменение на скоростта на движение чрез честотен инвертор и привеждане на механизмите от работно в транспортно състояние и обратно.

Целта на настоящата статия е да се опише новосъздадената електрифицирана задвижваща станция на почвен канал, да се представят елементите от които е изградена, да се дадат принципните схеми на цялата електроинсталация и на отделните изграждащи електрически апарати, да се опишат задачите които могат да бъдат решавани на стенда от студентите при тяхното обучение.

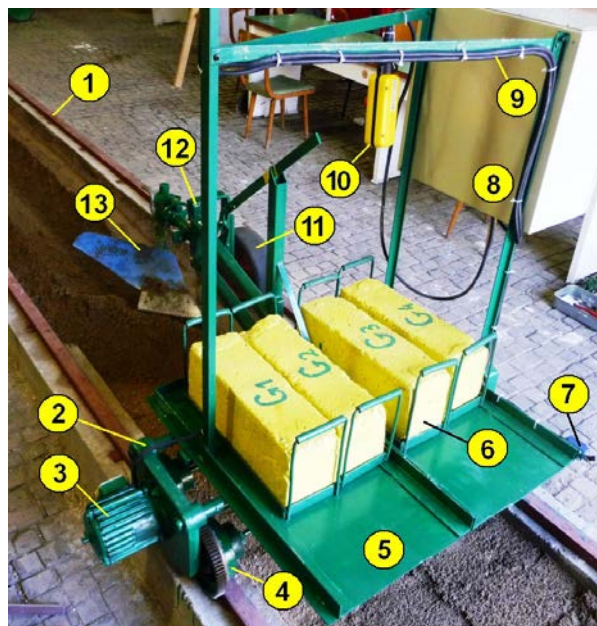
### 2. Резултати и дискусия

Почвеният канал се състои от бетонно корито с бордове, върху които са поставени метални релси 1 (фиг. 1). Вместо почва, бетонното корито е запълнено с пясък, който позволява по-лесното му поддържане в рохкаво състояние и в подходяща влажност.

Като теглителна станция се използва метална платформа 5, на която са положени четири броя бетонни тежести (поз. 6 - G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> и G<sub>4</sub>), всяка от които с тегло от по 35 kg, като общото тегло на цялата количка и тежестите е около 250 kg. Това тегло

е достатъчно да осигури необходимото сцепление между задвижващите метални колела и металните релси.

Металната платформа с тежестите е поставена на количка с четири метални колела 4 (фиг. 1), всяко едно от които е задвижващо. За задвижването на колелата се използва трифазен електродвигател 3, с мощност 0,75 kW и номинална честота на въртене  $n_{дв} = 930 \text{ min}^{-1}$ . Електродвигателят предава движение на задвижващите колела на количката чрез двустъпален зъбен редуктор 2, който има предавателно число 22,5.



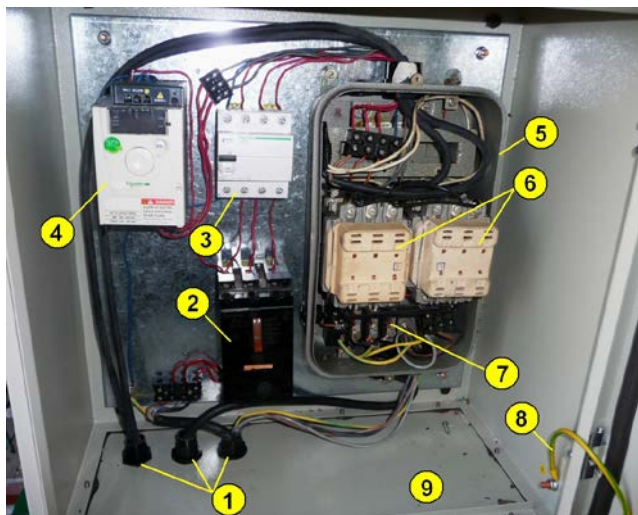
**Фиг. 1.** Почвен канал и електрифицирана теглителна станция към него: 1 – метални релси; 2 – зъбен редуктор; 3 – електродвигател; 4 – задвижващи колела; 5 – метална платформа; 6 – бетонни тежести; 7 – краен изключвател; 8 – електротабло; 9 – хранящи кабели; 10 – блок за управление; 11 – опорно колело; 12 – навесно устройство; 13 – работен орган.

Към теглителната станция е монтирано навесно устройство 12, на което се закрепват работните органи 13. Осигурено е копиране на терена с опорно колело 11, с възможности за нагласяване на дълбочината на работа.

На теглителната станция е монтирано електрическо табло 8, което служи за управление на електродвигателя и защита на електросистемата и персонала. На подвижен кабел е закрепен блок за управление 10 (фиг. 1) с един бутон „Стоп“ и два бутона „Пуск-Напред“ и „Пуск-Назад“. На количката са монтирани крайни изключватели 7, служещи за автоматично

спиране при достигане на двете крайни точки на почвения канал. Електросистемата се захранва от трифазни кабели 9 (фиг. 1), със сечение  $3 \times 2,5 + 1,5 \text{ mm}^2$ .

В електротаблото за управление, показано на фиг. 2, се използва трифазен автоматичен прекъсвач 2 (фиг. 2), трифазна дефектнотокова защита 3, с ток на реакция 30 mA, честотен инвертор 4, с входящо напрежение 220 V и изходящо напрежение  $3 \times 220 \text{ V}$ . Честотния инвертор е с възможности да променя честотата  $f$  на захранващото напрежение от 0 Hz до 60 Hz, а оттам и оборотите на вала на електродвигателя от  $0 \text{ min}^{-1}$  до  $1100 \text{ min}^{-1}$ .



Фиг. 2. Елементи на електрическото табло за управление и защита: 1 – захранващи кабели; 2 – автоматичен прекъсвач; 3 – дефектнотокова защита; 4 – честотен инвертор; 5 – реверсивен въздушен пускател; 6 – трифазни контактори; 7 – термично реле; 8 – проводник за зануляване; 9 – електротабло.

Електродвигателят се управлява чрез реверсивен въздушен пускател 5 (фиг. 2), съоръжен с два контактора 6 за задвижване „Напред” и „Назад” и термично реле 7, служещо за защита на електродвигателя от претоварване.

На фиг. 3 е представена елементна схема за последователността на подреждане на електрическите апарати за управление на стенда, която включва стопяеми предпазители, шалтер, автоматичен прекъсвач, дефектнотокова защита, честотен инвертор, реверсивен въздушен пускател и трифазен асинхронен двигател.

Изборът на стопяеми предпазители СП за електрически консуматор в края на линията студентите изчисляват по две условия. Консуматорът (в случая електродвигател) се характеризира с работен ток  $I_p$  и мощност  $P$ . Първото условие е токът на стопилката  $I_{ст}$ , да е по-голям или равен на работния ток  $I_p$  на защитавания консуматор.

$$I_{ст} \geq I_p$$

При трифазен асинхронен електродвигател, работният ток се определя по зависимостта:

$$I_p = \frac{1000 \cdot P_H \cdot k_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta_D}, [\text{A}]$$

където:  $P_H$  е номиналната мощност на двигателя, [kW];

$U_H$  е номиналното напрежение на двигателя; [V];

$\cos \varphi$  е факторът на мощността на двигателя;

$\eta_D$  е коефициентът на полезно действие на двигателя.

$k_H$  е коефициент на натоварване и се определя като отношение на действително развиваната мощност  $P_{дейст.}$  към номиналната мощност на електродвигателя  $P_H$ .

Второто условие е, че стопилката на предпазителя не трябва да се разрушава при пускане на двигателя, което трае от 5 до 40 s. Токът на стопилката  $I_{ст}$  се определя от условието:

$$I_{ст} \geq \frac{I_{II}}{\alpha}$$

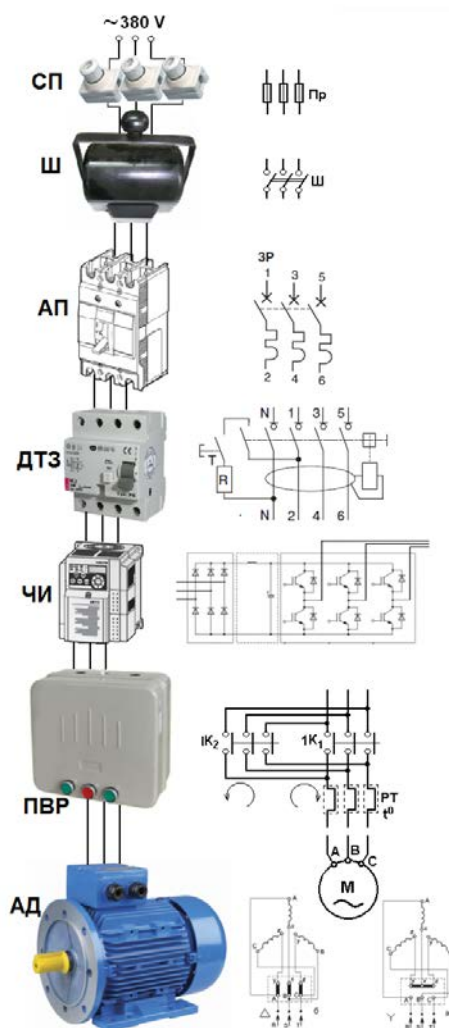
където  $I_{II}$  е пусковия ток на електродвигателя; [A];

$\alpha$  е коефициент, зависещ от режима на пускане.

Пусковият ток се получава като се умножи номиналният ток на двигателя с коефициента на кратност на пусковия ток  $k_{кр}$ , ( $k_{кр} = 4 \div 7$ ). Това означава, че пусковия ток при трифазните асинхронни двигатели надвишава номиналния ток от 4 до 7 пъти. В зависимост от машината, която задвижва електродвигателя и дали тя е под товар или работи на празен ход се различават два случая на пускане:

а) леко пускане – то обикновено трае от 5 до 10 s. При него коефициентът на пускане  $\alpha = 2,1 \div 2,5$ .

б) тежко пускане – то обикновено трае от 12 до 40 s и повече. При него коефициентът на пускане  $\alpha = 1,6 \div 2,0$ .



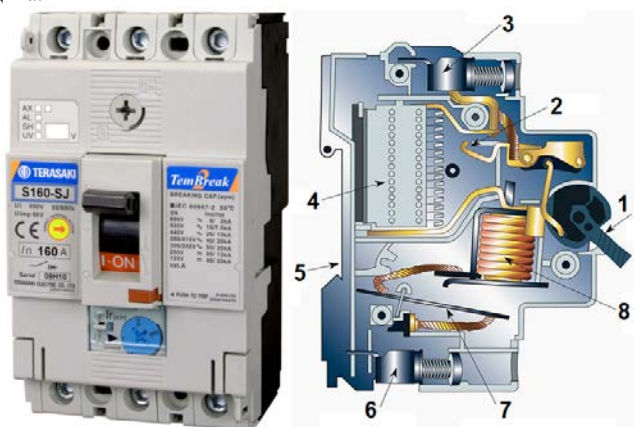
Фиг. 3. Схема за последователността на свързване на използваните електрически апарати за управление и защита: СП – стопяеми предпазители; Ш – шалтер; АП – автоматичен прекъсвач; ДТЗ – дефектнотокова защита; ЧИ – честотен инвертор; ПВР – реверсивен въздушен пускател; АД – трифазен асинхронен двигател.

В конструктивно отношение автоматичните прекъсвачи АП (фиг. 4) се изграждат на базата на два основни принципа. При първия, в конструкцията на прекъсвача е вградена индукционна бобина – електромагнит (поз 8, фиг. 4). Вследствие на нарастването на тока във веригата се индуцира

магнитна сила, тя задейства лостовата система на ръкохватката 1 и веригата се прекъсва автоматично.

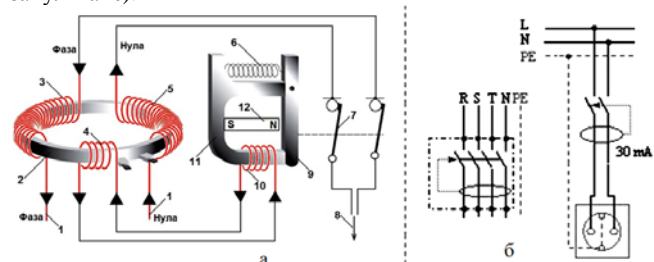
Втората основна конструктивна схема включва използването на биметална пластина. Принципът на работа на такъв автоматичен прекъсвач се основава на повишаването на температурата в биметалната пластина (поз 7, фиг. 4), в резултат от увеличаването на големината на тока в електрическата верига. Вследствие от повишаването на температурата ѝ, биметалната пластина се деформира и механично изключва веригата.

Преимуществено се използват автоматични прекъсвачи, в които са вградени и двете описани техники за разединяване на електрическите вериги, както е и на описания стенд. Студентите се научават да избират автоматични прекъсвачи по номинално напрежение; условията на околната среда; номинален ток на автомата, ток на настройката на максималнотокова защита; ток на настройката на топлинната защита.



**Фиг. 4.** Елементи на трифазния автоматичен прекъсвач: 1 – ръчка за включване и изключване; 2 – контактна система; 3 – клема „вход“; 4 – дъгогасителна камера; 5 – скоба за монтаж; 6 – клема „изход“; 7 – биметална пластина; 8 – бобина на електромагнита.

Дефектнотоковата защита (ДТЗ, прекъсвач за остатъчен ток) е електрически апарат (фиг. 5), основното предназначение на който е да намали риска от токов удар (протичане на ток през тялото на човека). Целта е да изключи веригата за достатъчно кратко време, така че да не се нанесат сериозни поражения върху човека. Освен това се намалява и опасността от пожар. Дефектнотоковата защита се ползва, когато инсталацията е със защитно заземяване (а не защитно зануляване).



**Фиг. 5.** Принципна схема на дефектнотокова защита(а): 1 – захранване; 2 – магнитопровод; 3 – намотка на фазовия проводник; 4 – сравняваща намотка; 5 – намотка на нулевия проводник; 6 – пружина; 7 – контактна система; 8 – към консуматора; 9 – подвижна част на магнитопровода; 10 – изпълнителна намотка; 11 – магнитопровод; 12 – постоянен магнит; (б) – трифазен и монофазен вариант.

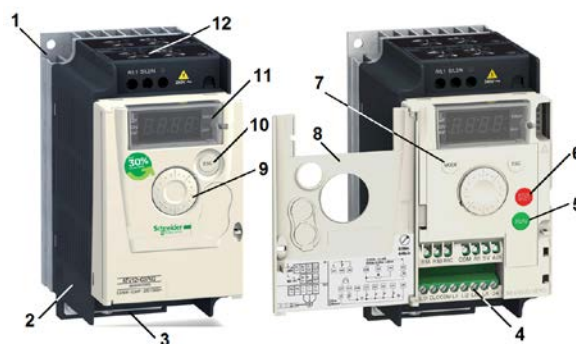
Използва се токов трансформатор (фиг. 5), чиито първични намотки 3 и 5 са фазата и нустралата на веригата, която трябва да се защитава. Посоката на навиване на тези намотки е такава, че магнитните потоци, създавани от токовете

във фазовия проводник и в нустралата взаимно се неутрализират. Появата на утечен ток нарушава това равновесие и във вторичната намотка 4 се индуцира ток, пропорционален на утечния ток.

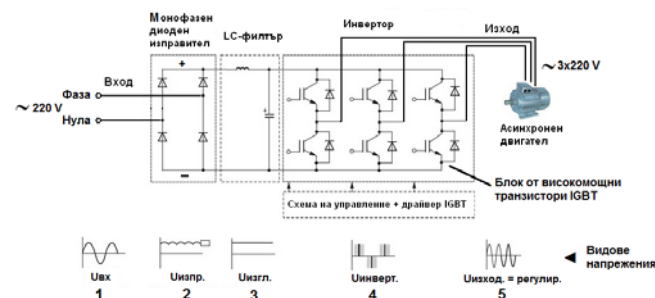
Дефектнотоковата защита (ДТЗ) сравнява тока, който протича по фазовия проводник с тока, който протича по нулевия. Когато има разлика в тези два тока и тя е по-голяма от зададената стойност, дефектнотоковата защита чрез намотката 10 (фиг. 5) задейства подвижната част 9 на магнитопровода и контактната система 7 изключва захранването. Студентите се научават да избират ДТЗ по номинално напрежение, по номинален ток и по ток на реакция при утечка.

Съвременните регулируеми електрозадвижвания (ASD - adjustable speed drives) са известни с наименованието честотни инвертори (variable frequency inverters). Преобразователите на честотата (честотните инвертори), са предназначени за управление на скоростта на въртене на трифазни асинхронни двигатели.

Инвертора се състои от кутия 2 (фиг. 6) и основа 1 за закрепване към табло. На кутията са монтирани входни клеми 12 за монофазно захранване 220 V и клема „нула“, изходни клеми 3 за трифазно напрежение 3x220 V с регулируема честота за управление на двигателя, бутони за ръчно управление и настройки 5, 6, 7, 9 и 10, електронен дисплей 11, клеми 4 за външно управление, включително и автоматично управление от контролер и различни видове датчици. Предния панел е предпазен от капак 8.



**Фиг. 6.** Общ вид на инвертора: 1 – основа; 2 – кутия; 3 – изходни клеми към двигателя; 4 – клеми за външно управление; 5 – бутон пуск; 6 – бутон стоп; 7 – бутон функции; 8 – капак; 9 – регулатор за ръчно управление; 10 – бутон escape; 11 – електронен дисплей; 12 – входни клеми захранване



**Фиг. 7.** Принципна схема на инвертора и видове напрежения в отделните модули: 1 – входящо променливо напрежение с честота 50 Hz; 2 – изправено пулсиращо напрежение от диодния изправител; 3 – постоянно напрежение, изгладено от блока „индуктивност-кондензатор“; 4 – модулирано трифазно напрежение от инвертора; 5 – изходящо променливо напрежение с регулируема честота от 0 Hz до 60 Hz.

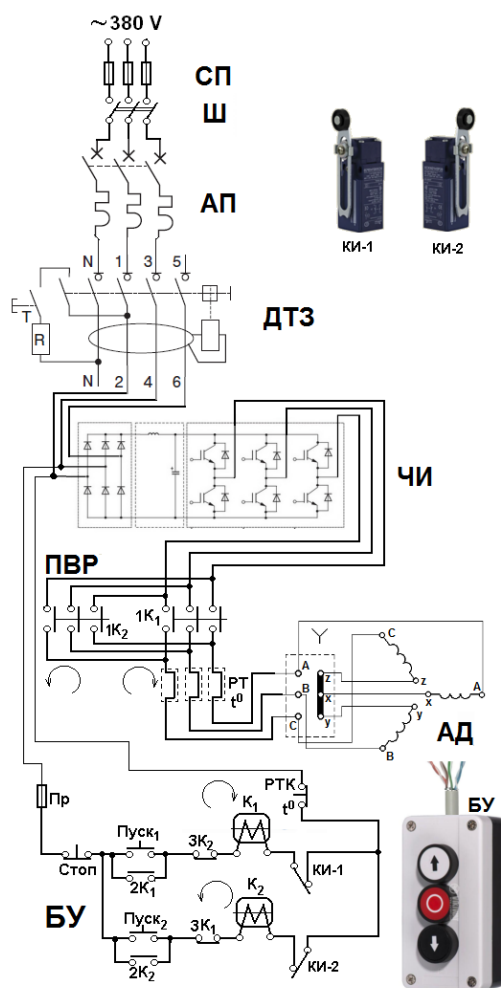
Честотният инвертор на стенда се състои от монофазен диоден изправител, филтър „индуктивност-капацитет“, блок от високомощни транзистори (инверторен блок), схема за

управление, входящи силови клеми, изходящи силови клеми и клеми за управление и автоматика.

На входа на инвертора се подава синусоидално променливо монофазно напрежение 220 V (фиг. 7 - означение 1 по схемата). Диодния изправител го превръща в изправено пулсиращо напрежение (означение 2 по схемата). За да се изгладят пулсациите на напрежението се използва филтър от индуктивност и кондензатор (LC-филтър).

Стабилизираното изправено напрежение (означение 3 по схемата на фиг. 7) се подава към инверторен блок, съставен от множество високомощни транзистори IGBT. Те предизвикват широчинно-импулсно модулиране на напрежението - постоянното напрежение се преобразува в симетрични правоъгълни импулси с различна продължителност. При широчинно-импулсното модулиране честотата на следване на импулсите е фиксирана и се движи за различните режими на работа от 2 до 16 kHz.

Студентите се обучават да настройват и задават базовите параметри на управлявания двигател, базовите параметри на инвертора, начина на неговото командване и ръчно да променят честотата на електрическия ток. Изучават заводските характеристики на инвертора за влиянието на честотата на електрическия ток върху въртящия момент на двигателя.

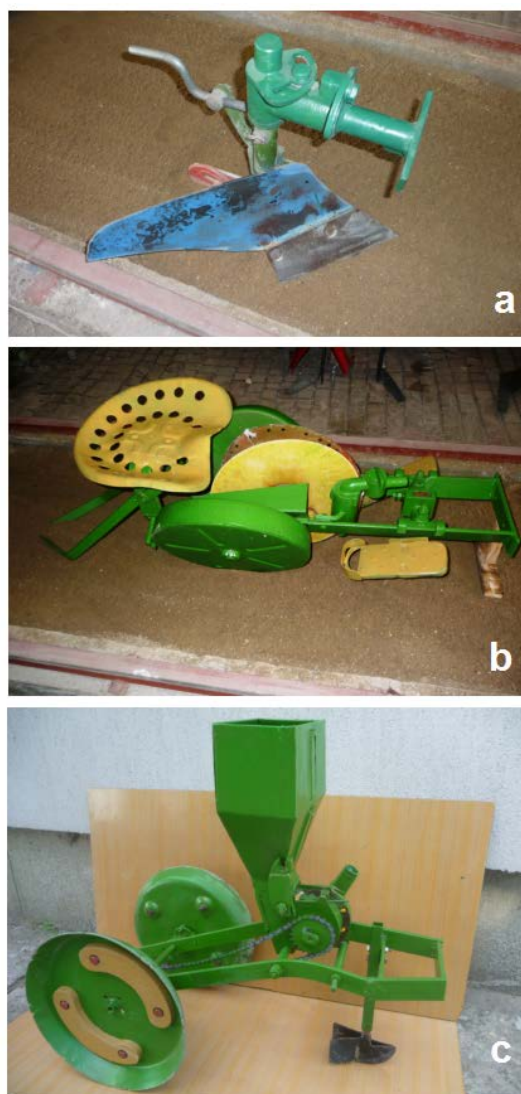


**Фиг. 8.** Пълна електрическа схема за управление, автоматика и защита: КИ-1 и КИ-2 – крайни изключатели; БУ – блок за управление; РТ – реле термично;  $K_1$  и  $K_2$  – бобини на контакторите;  $1K_1$  и  $1K_2$  – главни контакти на контакторите;  $2K_1$  и  $2K_2$  – контакти за шунтиране на бутоните „пуск“;  $3K_1$  и  $3K_2$  – блокировъчни контакти на контакторите; СП – стопяеми предпазители; Ш – шалтер; АП – автоматичен прекъсвач; ДТЗ – дефектнотокова защита; ЧИ – честотен инвертор; ПВР – реверсивен въздушен пускател; АД – трифазен асинхронен двигател; Y – свързване на електродвигателя в режим „звезда“; R – резистор; K – бутон „тест“.

На фиг. 8 е представена пълната електрическа схема за управление, автоматика и защита на изградения стенд за демонстрации и обучение. С бутоните на преносимия блок за управление БУ (един бутон „Стоп“ и два бутона „Пуск<sub>1</sub>-Напред“ и „Пуск<sub>2</sub>-Назад“) се управляват бобините на контакторите  $K_1$  и  $K_2$ . В техните вериги са включени и контактите на крайните изключатели КИ-1 и КИ-2, които автоматично изключват теглителната станция при достигане на краищата на почвения канал.

Термичното реле РТ, намиращо се в тялото на реверсивния въздушен пускател ПВР, реагира на токове на претоварване и при нужда изключва контакта си във веригата на бобините и те се изключват. Използват се блокировъчни контакти  $3K_1$  и  $3K_2$  (фиг. 8) за да не се позволи противовключване, когато двигателят се върти в определена посока.

Студентите избират реверсивния пускател по номинално напрежение, по номинален ток на двигателя и по изключващия ток на термичната защита.



**Фиг. 9.** Работни секции на земеделски машини: а) – плужно тяло; б) – секция от разсадосадачна машина; в) – работна секция от сеялка за точна сеитба.

Досега от студенти са подготвени и разработени три работни секции (фиг. 9): плужно тяло, секция от разсадосадачна машина и работна секция от сеялка за точна сеитба, които са включени в учебния процес и с тях се извършват демонстрации при упражнението.



**Фиг. 10.** Лабораторно занятие по сеитба на царевица на стенда „Почвен канал“ със студенти от специалност „Аграрно инженерство“.

3. Трифонов, А. Електротехника и електрозадвигване. Академично издателство на Аграрен университет-Пловдив, 2015.
4. Siemens, Basics of AC Motors and AC Drives, Siemens Technical Education Program, 2010.
5. Schneider Electric, Защита срещу поражения от електрически ток, 2013.

### 3. Заключение

Създаден е стенд „Почвен канал“, с който могат да се извършват демонстрации на различни видове работни органи на земеделски машини, на отделни секции на такъв тип машини, управление и защита на трифазни асинхронни двигатели, защита на персонала от токови удари, определяне на предавателни отношения на механични предавки, определяне на теглителни усилия на работни органи, настройване на електронното управление за определен режим на работа, демонстриране на работата на електрическите апарати за управление на силнотоккови електрически вериги и др.

В лабораторни условия могат да бъдат показани в работно състояние плужни тела за основна обработка на почвата, култиваторни секции за окопаване, загърляне, окопаване с внасяне на минерален тор, садачни секции от разсадосадачни и картофосадачни машини, секции от сеялки за точна сеитба и от редосеялки и други.

Осигурено е задвигване на стенда от електрифицирана и електронизирана задвижваща станция, използваща релсов път. При нея е предвидено безстепенно изменение на скоростта на движение чрез честотен инвертор, движение и в двете посоки с реверсивен въздушен пускател и привеждане на механизмите от работно в транспортно състояние и обратно.

### 4. Литература

1. Мещеряков, Ю.Г., Ю.А. Квашнин, Г.А. Киселёв, В.В. Полюшкин, Г.П. Суворова, Электрические машины и аппараты, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул 2004.
2. Соснина Г.В. Электрические машины, «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина», Москва 2004.