

Университет „Проф. д-р Асен Златаров“,
8000 Бургас,

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ РЕЛЕТА ЧРЕЗ ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД

гл. ас д-р Васил Борисов Иванов,
vasil_bi@abv.bg

Цели

- Изследване на три напрежителни релета от вида 24V (АС и DC) и 220V (АС), чрез плавно регулиране захранването;
- Експериментално определяне параметрите на релетата от лабораторният стенд;
- Анализ на измерванията, изчисленията и построените диаграми по работните характеристики на изследваните релета;

Увод

Електромеханичните устройства и системи (ЕМУС) са базовите обекти от електротехническата наука, тясно свързани с производството, пренасянето, потреблението и преобразуването на електрическата енергия в механична и обратното.

Друго разпространено определение за електромеханични устройства (ЕМУ) е следното: устройство, предназначено за производство, потребление или разпределение на електрическата енергия във всички области на техниката и бита [3]. Принципите, върху които се основава тяхното действие са общи и важат както за маломощните ЕМУ (до няколкостотин вата), така и за мощните (над 1 мегават).

В най-общ аспект ЕМУ са преобразуватели на механична енергия в електрическа и обратно – на електрическа енергия в механична. Терминът „електромеханични устройства“ съдържа основните компоненти и разкрива до голяма степен природата на тези устройства – в повечето случаи всяко едно от тях съдържа задължително два компонента – механически агрегат или система и електрически (най-често електрическа намотка, бобина или електромагнит). Поведението на ЕМУ се подчиняват едновременно, както на законите на механиката, така и на електротехниката. При тях в повечето случаи има елемент на механично преместване (линейни или ъглово). Изключение правят само трансформаторите.

Независимо от бурното развитие на електронната техника, производството и разпространението на ЕМУ не намалява, а електронните компоненти все повече навлизат в състава на ЕМУ, като допълват основните им функции: защитни, регулационни и др.

• Електромеханичните релета като част от ЕМУ

Релетата се задействат от електрическата величина, която се преобразува в механично преместване и посредством него се затварят или отварят контактите на релето. То променя състоянието си със скок, когато контролираната от него величина (ток, напрежение и др.) добие стойност, по-голяма или по-малка от предварително зададената стойност. При задействането си релетата самостоятелно или съвместно с други апарати дават сигнал за включване или изключване на прекъсвачи, сигнални уреди и др.

Релетата представляват елементи, характеризиращи се с това, че при достигане на определена стойност на входната им величина /например токът през намотката на релето/ в резултат на тяхното действие, изходната им величина /например токът през контактната система на релето/ се променя от

логическа „0“ в логическа „1“ и обратно. Това определя приложението им и като логически елементи.

- Според принципа на действие релетата са разделени на контактни притежаващи електромеханична контактна система, която под действие на входен сигнал се затварят - нормално отворени контакти (НОК) или отваря - нормално затворени контакти (НЗК). Безконтактните релета се изграждат на базата силови електронни елементи, които работят в релеен (импулсен) режим.

- В зависимост от начина, по който се получава двигателният момент за задействане на електромеханичните релета от входната величина се разделят на:

- електромагнитни, индукционни, електродинамични, магнетоелектрически, поляризовани, топлинни.

- токови и напрежителни релета, релета за мощност, за съпротивление и за време.

- Според бързодействието си релетата се разделят на безинерционни, бързодействащи и обикновени. При тях базова величина е времето на задействане $t_{\text{зад}}$, като най-бързите са с $t_{\text{зад}} = 0,001\text{s}$, а най-бавнодействащите са с време от $0,25\text{s}$. Следващите времена на задейства определят релето като закъснително или време реле.

- Консумираната активна мощност от бобината на релето.

По закона на Ом при постоянен ток активната мощност **P** е произведение на пада на напрежение **U** върху бобината и текущия ток **I** през нея:

$$P = U \cdot I, W \tag{1}$$

Когато включим и времето, през което бобината на релето е захранена за консумираната енергия се получава израз:

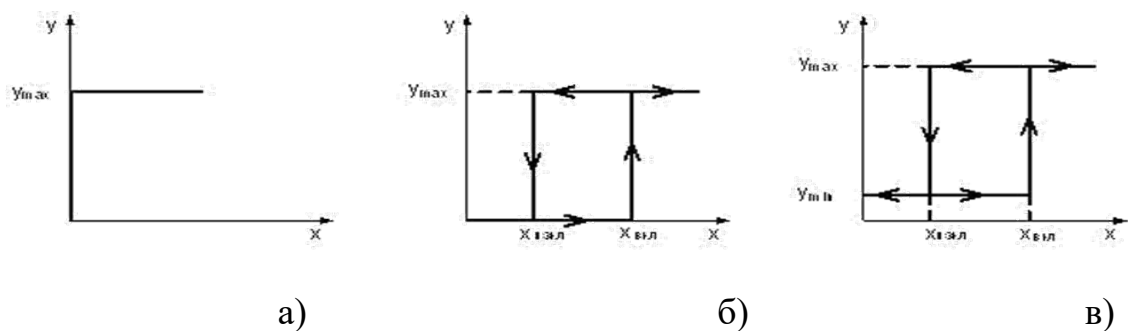
$$W = P \cdot t, W.s \tag{2}$$

- Чувствителност на релето.

В основата си това е консумацията на енергия на релето във включено състояние. Релето, което изисква по-малко енергия за работа, е по-чувствително от това, което е по-енергоемко. Този параметър е особено важен за устройства с автономно захранване. Това е захранване с източник, например - акумулаторна батерия с ограничена енергия за продължителен период от време, което определя консумацията на релето да е минимална.

• Релеен хистерезисен цикъл на релетата

Зависимостта “вход – изход”, отразяваща връзката между двете величини е основна за едно реле и има типичен релеен вид даден на фиг.1[3].



Фиг.1. Входно-изходни характеристики на релета: а) идеализирана ;
б) реална за контактен тип; в) реална за безконтактен тип реле.

При идеално реле тя има вид на единична функция (фиг.1.а). За реално реле характеристиката има вида на релеен хистерезисен цикъл, характеризиращ се с четири основни величини - две за входната - $x_{вкл}$ и $x_{изкл}$ и две за изходната y_{min} и y_{max} .

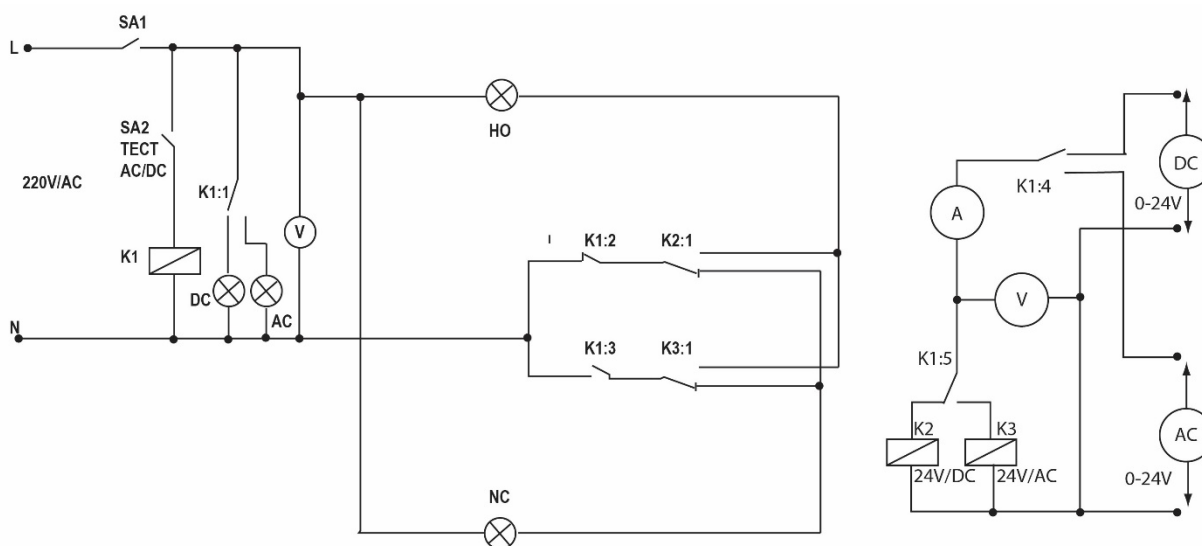
- Коефициентът на усилване по мощност при релетата е значително по-малък от този при контакторите, но за сметка на това бързодействието е значително. Обикновено в силовата автоматика и в електрозадвижването релето е междинен елемент между електрониката (PLC, РС, транзисторни ключове) и контакторите [1]. В някои системи за управление (асансьорни

табла) релетата са основните логически елементи за реализиране на алгоритмите на работа на устройството.

• ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

• Принципна действие на лабораторният стенд.

Схемата на свързване на елементите от стенда е показана на фиг.1.



Фиг.2. Принципна схема на свързване елементите от лабораторния стенд;

Със символите K1, K2, и K3 са означени бобините на тестваните релета.

Контактна система управлявана от реле K1, означена с K1:1 превключва НО (н.з.) и NC (н.о.) контакти към лампите за 220V. При NC (н.о.) контакт се захранва бобината към релето за постоянен ток 24V/DC чрез K1:4 и K1:5, като при тяхното превключване т.е НО (н.з.) им контакти захранват релето за променлив ток 24V/AC. По този начин се определя избора на източник и избора за работа на релето за променли или за постоянен ток. Контактна система K1:2 и K1:3 е свързана последователно към K2:1 и K3:1 за комутиране на общият извод към лампите.

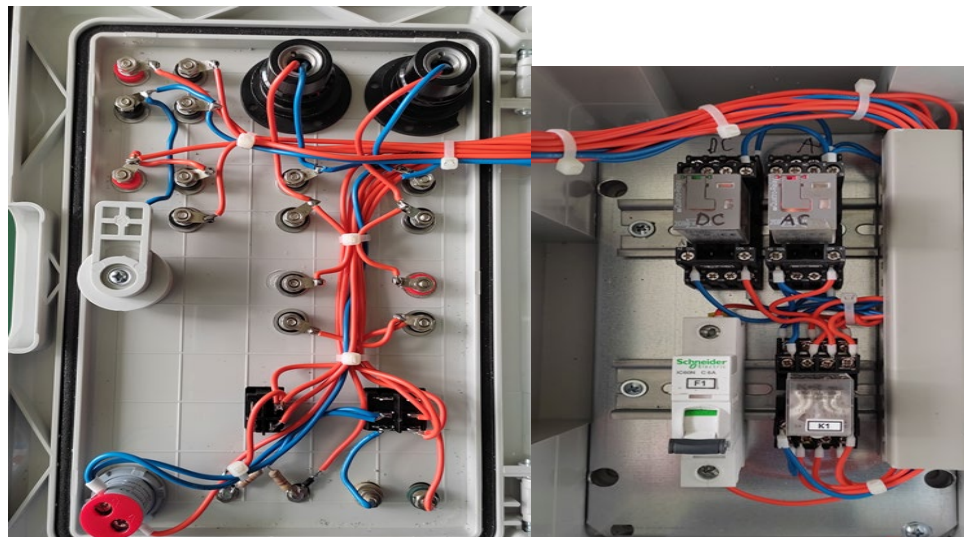
Контактите от контактната система K2:1 управлявани от реле K2

24V/DC превключва лампите в състояние НО (н.з.) или NC (н.о.). Контактите от контактната система K3:1 управлявани от реле K324V/AC комутират лампите в режим НО (н.з.) или NC (н.о.).

- **Описание на лабораторният стенд;**

Снимката от фиг.3. показва монтирането на релетата и АП във вътрешната част на кутията на лабораторния макет. Монтажа е изпълнен по съвременен стил като компонентите са монтирани на еврошина и кабелите са изведени в кабелен канал за нагледност.

Автоматичният прекъсвач (АП) е включен като защитен елемент към главната веригата на мрежовото напрежение. АП е с номинални параметри да защитава електрически вериги до 6А.



Фиг.3. Снимка с електрическите връзки между елементите от стенда, Изглед на монтираните релета и АП;

- **Етапи от експериментите с релетата от макета;**

- Свързване схемата от лабораторния макет и измерване на електрическите величини от заданието.

- Изчисляване на електрическите величини от заданието.

- Задание за изпълнение:

Измерване и изчисляване на:

- средна стойности на консумиран ток, напрежение, мощността
- коефициент на възвръщане m_{cp}

▪ **Номиналното напрежение U_n** към възбудителната намотка (бобината) на релето, зададено от производителя, гарантира задействане със сигурност на механизма за включване на главните и спомагателни контакти. Те трябва да остават трайно включени при $1,1.U_n$ и да се изключват със сигурност ако U_n спадне в границите $(0,75-0,11). U_n$.

- **Коефициент на възвръщане по напрежение**

$$m_{cp} = \frac{U_{изкл.}}{U_{вкл.}} \quad (1)$$

при релетата m_{cp} е в границите $(0,1 - 0,9)$ като при по-високи стойности чувствителността нараства - тесен релеен цикъл.

▪ **Време на включване $t_{вкл.}$** Интервалът от време от момента на вкл. на входната величина до момента, когато контактите заемат окончателно новата си позиция. При релетата $t_{вкл.}$ не е строго определено, както при контакторите и може да се променя в желани граници. Време на включване определя тока на сработване на релетата.

Време на изключване $t_{изкл.}$ - Интервалът от време от момента на изключване на входната величина до момента, когато контактите заемат окончателно позиция на нормално отворено състояние. Време на изключване определя тока на отпускане на релетата.

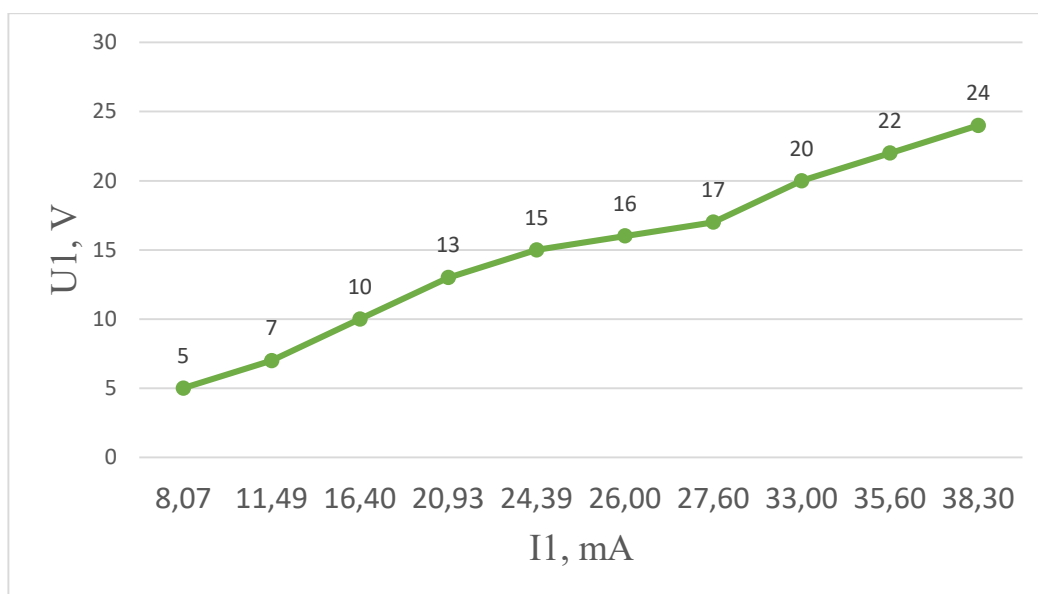
- **Исходни данни:**

- релета за променлив ток: AC 24 V; 220 V;
- релета за постоянен ток: DC 24 V;

- автоматичен прекъсвач: АП 6 А;
 - регулируем адаптер: 0 - 24 V, 2А (24W);
 - индикация за променливо напрежение;
 - електрически лампи: 220V;
- Анализи по резултатите от изследваните релета
 - Резултати от измерванията и изчисленията чрез лабораторния стенд.
 - След захранване на релетата и отчитане времето на задействане и отпускане се попълват таблиците.

Таблица 1. Опитни измервания и изчисления за реле R_{24BHDC}

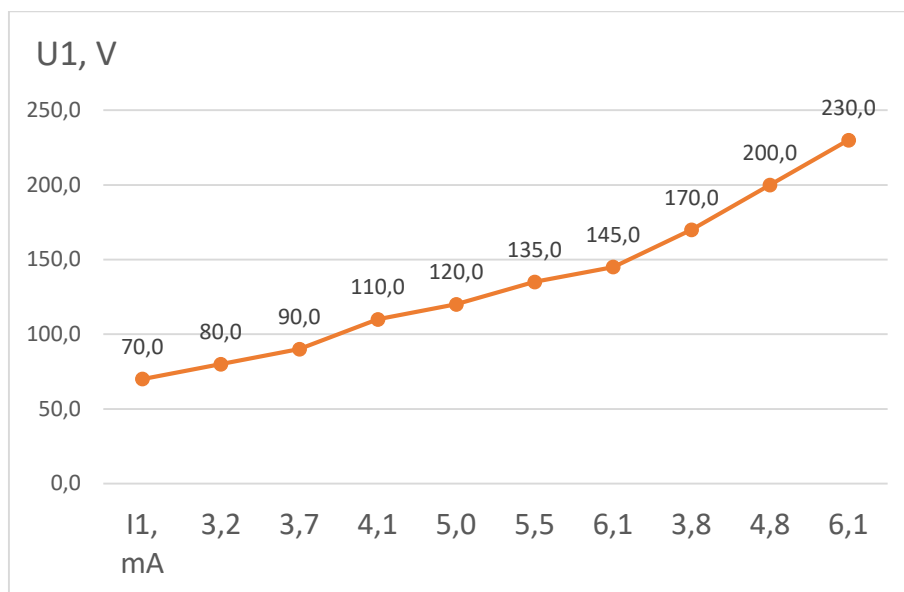
№ параметър	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ток на сработване (включване);	I ₁ , mA	8,07	11,49	16,40	20,93	24,39	26	27,6	33	35,6	38,3
Напрежение на сработване (вкл.);	U ₁ , V	5	7	10	13	15	16	17 +	20	22	24
Ток на отпускане (изключване);	I ₂ , mA	40	27,8	24,58	19,7	14,82	11,68	6,72	5,84	3,94	1,2
Напрежение на отпускане (изкл.);	U ₂ , V	24	17	15	12	9	7	4	3,5	2,35 -	0,7
Активно съпрот. на релето за пост. ток;	R _{24BHDC} , Ω	610	600	600	620	610	610	610	600	610	620



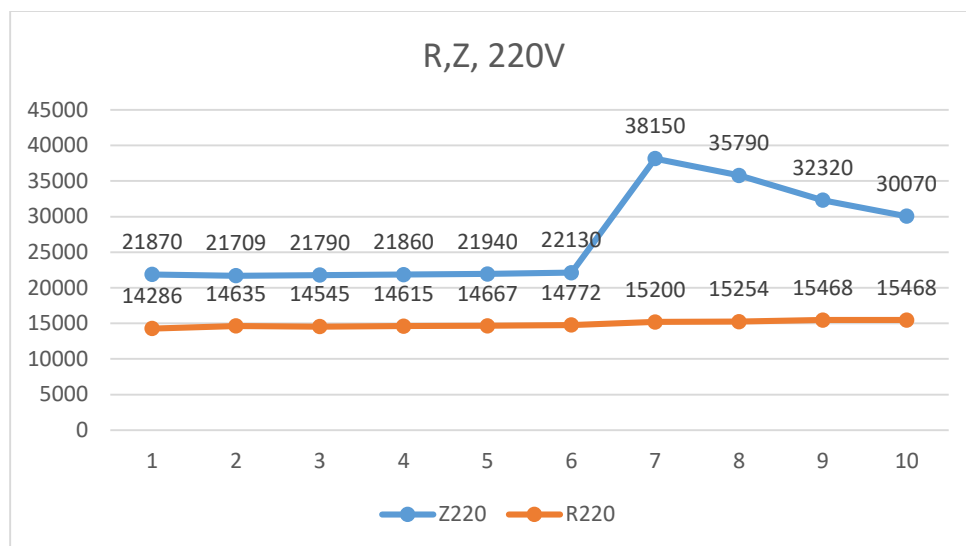
Фиг 4. Диаграма на изменение на **активното съпротивление** на бобината при нарастване на тока до комутация (релето превключва);

Таблица 2 Резултати от измерванията и изчисленията за реле R_{220ВНАС}

№ параметър	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ток на сработване;	I ₁ , mA	3,2	3,67	4,13	5,03	5,47	6,10	3,8	4,75	6,13	7,65
Напрежение на сработване;	U ₁ , V	70	80	90	110	120	135	145 +	170 +	200 +	230 +
Ток на отпускане;	I ₂ , mA	7,65	5,97	4,63	3,68	3,35	2,88	2,58	3,99	3,55	3,10
Напрежение на отпускане;	U ₂ , V	230	200	170	145	135	120	110	90 -	80 -	70 -
импеданс на релеза 220V;	Z _{220ВНАС} , Ω	21870	21709	21790	21860	21940	22130	38150	35790	32320	30070
активно съпр. на 220V; измерва се с рег. DCизт.	R _{220ВНАС} , Ω	14286	14635	14545	14615 вкл.	14667	14772	15200	15254	15468	



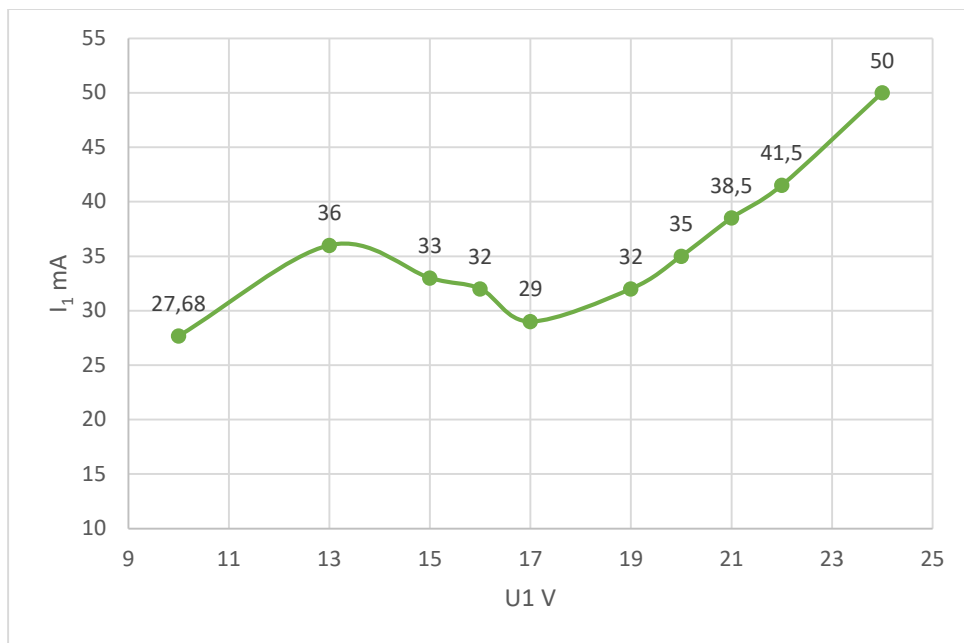
Фиг 5. Диаграма на изменение импеданса на бобината при нарастване на тока до комутация, когато релето превключва;



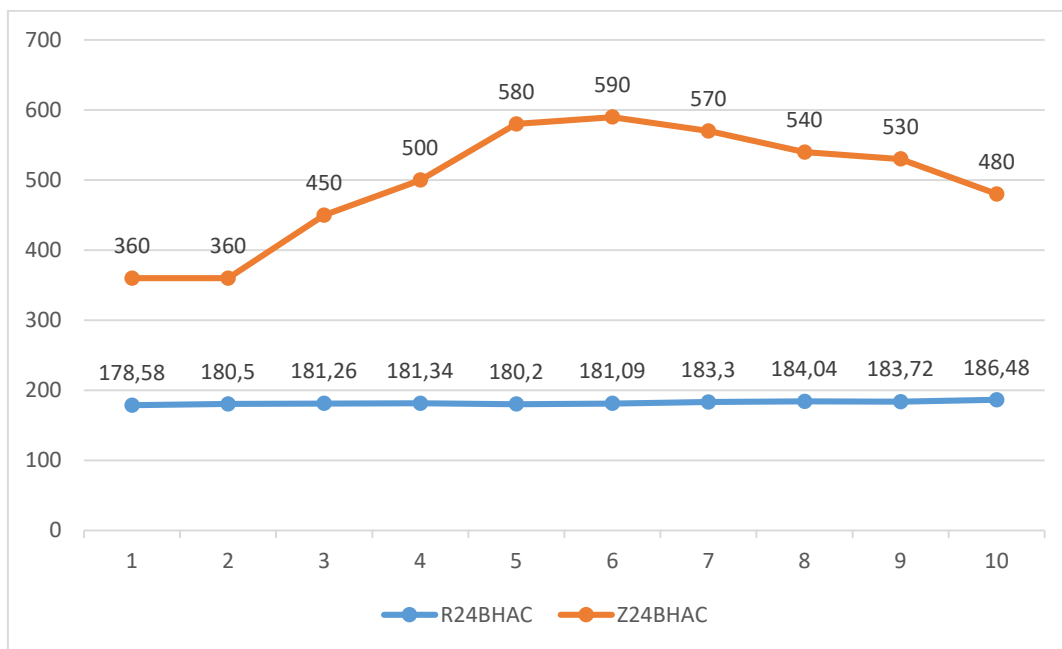
Фиг 6. Диаграми на R, Z на бобината на реле за 220V; Отношението им определя фактора на мощност, който се подобрява при намаляване на импеданса Z;

Таблица 3 Резултати от измерванията и изчисленията за реле R_{24ВНАС}

№ параметър	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ток на сработване (включване);	I ₁ , mA	27,68	36	33	32	29	32	35	38,5	41,5	50
Напрежение на сработване (вкл.);	U ₁ , V	10	13	15	16	17	19	20	21	22	24
Ток на отпускане (изключване);	I ₂ , mA	50	41	34,3	31	28,5	29	32,8	34	32,8	27,3
Напрежение на отпускане (изкл.);	U ₂ , V	24	22	20	19	18	17	15	13	12	10
импеданс на реле за 24V;	Z _{24ВНАС} , Ω	360	360	450	500	580	590	570	540	530	480
активно съпр. на 24V; измерва се с рег. DCизт.	R _{24ВНАС} , Ω	178,58	180,5	181,26	181,34	180,2	181,09 Вкл.	183,3	184,04	183,72	186,48



Фиг 7. Диаграма на изменение **импеданса** на бобината при нарастване на тока до превключва;



Фиг 8. Диаграми на R, Z на бобината на реле за 24V; Отношението им определя фактора на мощност, който се подобрява при намаляване на импеданса Z;

- Изчисления по данните получени при измерванията

▪ Средна големина на тока на сработване I_{1cp} ;

$$I_{1cp.} = \sum_{k=1}^n I_{1n}/n, \text{ mA} \quad (2)$$

След заместване със стойности от таблиците за средните големина на **тока на сработване** I_{1cp} за трите релета получаваме:

- За реле **R_{24BHDC}**: $I_{11cp} = 241,78/10 = 24,18\text{mA} = 24,18 \cdot 10^{-3}, \text{A}$
- За реле **R_{220BHAC}**: $I_{12cp} = 49.93/10 = 4,99\text{mA} = 4,99 \cdot 10^{-3}, \text{A}$
- За реле **R_{24BHAC}**: $I_{13cp} = 322,28/10 = 32,23\text{mA} = 32,23 \cdot 10^{-3}, \text{A}$

▪ Средна големина на напрежението на включване:

$$U_{1cp.} = \sum_{k=1}^n U_{1n}/n, \text{ V} \quad (3)$$

▪ След заместване със стойности от таблиците за средните големина на напрежението на включване пресмятаме по (2);

- За реле **R_{24BHDC}** $U_{11cp.} = 149 /10 = 14,9, \text{V}$
- За реле **R_{220BHAC}**: $U_{12cp} = 1350 /10 = 135, \text{V}$
- За реле **R_{24BHAC}**: $U_{13cp.} = 177/10 = 17,7, \text{V}$

▪ Средна големина на мощността на **включване** бобината на реле за **постоянен** ток DC изчислена по данните от таблица 1;

$$P_{1cp.} = I_{1cp.} * U_{1cp.}, \text{ W} \quad (4)$$

След заместване със стойности от таблица 1 за големина на мощността на **включване** бобината на реле за **постоянен** ток DC изчислената стойност е:

- За реле **R_{24BHDC}**

$$P_{1cp.} = 24,18 \cdot 10^{-3} * 14,9 = 0,36, \text{ W}$$

▪ Средна големина на пълната мощност при **променлив** ток AC;

$$S_{1\text{ср.}} = I_{1\text{ср.}} * U_{1\text{ср.}}, \text{ VA} \quad (5)$$

След заместване със стойности от таблица 2 и 3 за големина на пълната мощност на **включване** бобината на реле за **променлив** ток АС изчислените стойност са:

$$S_{2\text{ср.}} = 135 * 4,99 * 10^{-3} = 0,68, \text{ VA за реле 220V};$$

$$S_{3\text{ср.}} = 32,23 * 10^{-3} * 17,7 = 0,57, \text{ VA за реле 24V};$$

▪ Средна големина на тока на **отпускане**;

$$I_{2\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n I_{2n}/n, \text{ mA} \quad (6)$$

След заместване със стойности от таблиците за средните големина на **тока на отпускане** $I_{2\text{ср}}$ за трите релета получаваме:

$$\text{- За реле R}_{24\text{ВНДС}}: I_{21\text{ср.}} = 156,28/10 = 15,63, \text{ mA}$$

$$\text{- За реле R}_{220\text{ВНАС}}: I_{22\text{ср.}} = 41,38/10 = 4,138, \text{ mA}$$

$$\text{За реле R}_{24\text{ВНАС}}: I_{23\text{ср.}} = 340,7/10 = 34,07, \text{ mA}$$

▪ Средна големина на напрежението на **изключване**;

$$U_{2\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n U_{2n}/n, \text{ V} \quad (7)$$

След заместване със стойности от таблиците за средните големина на напрежението на **изключване**:

$$\text{- За реле R}_{24\text{ВНДС}}: U_{21\text{ср.}} = 94,55/10 = 9,5, \text{ V}$$

$$\text{- За реле R}_{220\text{ВНАС}}: U_{22\text{ср.}} = 1350/10 = 135, \text{ V}$$

$$\text{За реле R}_{24\text{ВНАС}}: U_{23\text{ср.}} = 170/10 = 17, \text{ V}$$

• Определяне на коефициента на възвръщане по напрежение;

$$K_{\text{възвр.}} = \frac{U_2}{U_1} \quad (8)$$

По данните от таблиците след заместване в (8) определяме:

$$\text{- За реле R}_{24\text{ВНДС}}: K_{\text{възвр.}} = \frac{2,35}{17} = 0,14$$

- За реле **R_{220ВНАС}**: $K_{\text{възвр.}} = \frac{90}{145} = 0,63$

- За реле **R_{24ВНАС}**: $K_{\text{възвр.}} = \frac{20}{24} = 0,84$

Коефициентите на възвръщане по напрежение на релетата определят бързодействието им. Коефициентът се изменя от 0 до 1, като бързодействащите релета са със стойност приближаваща се до единица. Това определя по тесен релеен цикъл на времената на включване и изключване.

▪ Средна големина на активното съпротивление на бобината;

$$R_{24DC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n R_{24DCn}/n, \Omega \quad (9)$$

След заместване на изчислените стойности в таблицата 1 получаваме:

- За реле **R_{24ВНДС}**:

$$R_{24DC\text{ср.}} = 6,09/10 = \mathbf{609, \Omega}$$

За реле **R_{220ВНАС}**:

▪ Средна големина на **импеданса** на бобината;

$$Z_{220AC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n Z_{220ACn}/n, \Omega \quad (10)$$

След заместване на изчислените стойности в таблицата 2 получаваме:

$$Z_{220AC\text{ср.}} = 267,71/10 = \mathbf{26771, \Omega}$$

За да определим активните съпротивления на релетата за променлив ток използваме регулируем източник за постоянен ток.

▪ Средна големина на **активното съпротивление** на бобината;

$$R_{220AC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n R_{220ACn}/n, \Omega \quad (11)$$

След заместване на изчислените стойности от табл. 2. получаваме:

$$R_{220AC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n R_{220ACn}/n;$$

$$R_{220AC\text{ср.}} = 133422 / 9 = \mathbf{14827, \Omega}$$

• Факторът на мощност чрез активното и пълното съпротивления [2,4] :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}, \quad (12)$$

$$\cos \varphi = \frac{14827}{26771} = 0,55$$

Определяне на активната мощност на релето за променлив ток:

$$P = S \cdot \cos \varphi, \text{ W} \quad (13);$$

$$P_{\text{ср}} = 0,68 * 0,55 = 0,374, \text{ W}$$

- За реле **R_{24ВНАС}**:

▪Средна големина на **импеданса** на бобината;

$$Z_{24AC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n \frac{Z_{24ACn}}{n}, \Omega \quad (14);$$

След заместване на изчислените стойности в таблицата 3 получаваме:

$$Z_{24AC\text{ср}} = 4,96/10 = 496, \Omega$$

▪Средна големина на **активното съпротивление** на бобината;

$$R_{24AC\text{ср.}} = \sum_{k=1}^n \frac{R_{24ACn}}{n}, \Omega \quad (15);$$

След заместване на изчислените стойности в таблицата 3 получаваме:

$$R_{24AC\text{ср}} = 1820,51/10 = 182,1, \Omega$$

Факторът на мощност чрез активното и пълното съпротивления:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}, \quad (16)$$

$$\cos \varphi = \frac{182,1}{496} = 0,37$$

Определяне на активната мощност на релето за променлив ток:

$$P = S * \cos \varphi, \text{ W} \quad (17);$$

$$P_{\text{ср}} = 0,68 * 0,37 = 0,25, \text{ W};$$

• **Анализи по резултатите от експериментите.**

• Коефициентите на възвръщане по напрежение на релетата определят бързодействието им. Коефициентът се изменя от 0 до 1, като

бързодействащите релета са със стойност приближаваща се до единица. Това определя по тесен релеен цикъл на времената на включване и изключване. По данните от изчисленията:

- За реле **R_{24VHDC}**: $K_{\text{възвр.}} = \frac{2,35}{17} = 0,14$

- За реле **R_{220VHAC}**: $K_{\text{възвр.}} = \frac{90}{145} = 0,63$

- За реле **R_{24VHAC}**: $K_{\text{възвр.}} = \frac{20}{24} = 0,84$

- Сравнителен анализ между **чувствителността** на релетата по активната мощност на консумация от бобината. При трите релета са изчислени активните мощности от консумация.

При релето за 24 V DC: **P_{1 ср.} = 0,36, W**

При релето за 24 V AC: **P_{2 ср.} = 0,25, W**

При релето за 220 V AC: **P_{3 ср.} = 0,374, W**

- Релето за 24VAC е с най-малка консумация и се определя с най-голяма чувствителност. То може да намери приложение в устройства и апарати захранвани от автономни източници (на батерии) с изисквания за по-малка консумация на енергия [5].

- Релетата монтирани в тестовата кутия са на цокли и могат да се заменят с други при повреда или необходимост от промяна в параметрите.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

[1] Иванов В., „Изследване ефективността на постояннотоков двигател с независимо възбуждане“, ISSN 1311-106X, Известия на Съюза на учените – Русе, серия 1, Технически науки, том 15, 2018г.;

[2] Ivanov V., “Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems – CIEES 2021, AIP Conf. Proc.

2570, 030010-1–030010-8, ISBN: 978-0-7354-4375-4 (Published Online: 18 August 2022):
<https://doi.org/10.1063/5.0100042>;

[3] Янков В., Стефанов В. „Електромеханични устройства и системи, учебник за студенти, Русе: Русенски Университет "Ангел Кънчев", 2013

[4] Ivanov V., “Modeling on resonance filter in SIMULINK” Annual University Scientific Conference 2022, ISSN 2367-7481, “Vasil Levski” NMU, Veliko Turnovo. (Researchgate);

[5] Ivanov V., „ Research of autonomous low power supply system“, annual of Assen Zlatarov University, Burgas, Bulgaria, Vol. L, Book 1, 2021, ISSN 2603-3968. (Researchgate);