

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №

(СЕМ)

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ
НА СПЕЦИАЛНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА СПЕЦИАЛНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ

ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Запознаване с възможностите на *изпълнителните асинхронни двигатели*, използвани за задвижване в автоматизираните технологични процеси.
2. Запознаване с електрическите машини, *селсини*, използвани за предаване на ъглово преместване между два механично несвързани вала.
3. Запознаване с възможностите на *стъпковите двигатели* за реализиране на прецизно ъглово преместване на задвижван вал.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

1. Асинхронни изпълнителни двигатели

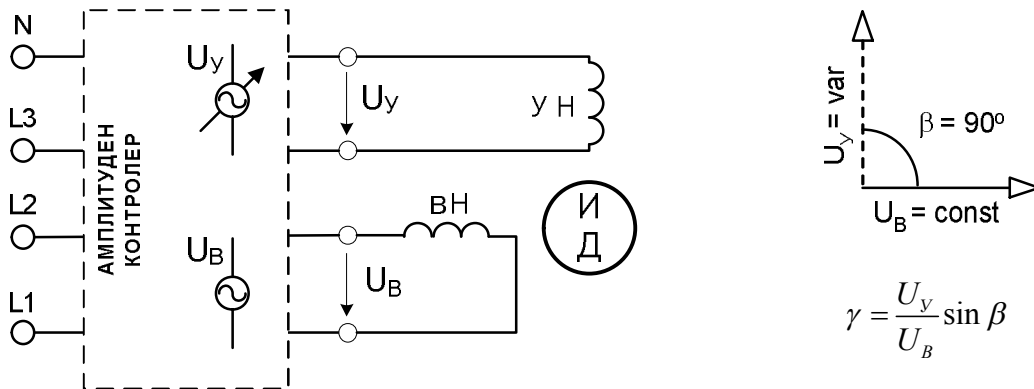
Системите за автоматично регулиране разглеждат електрическите двигатели като преобразуватели на електрически сигнал (управляващо напрежение) в механично движение (въртене на вал). От тези двигатели се изисква да имат възможности за регулиране на оборотите в широк диапазон, съчетано с голямо бързодействие при ускоряване и спиране.

Асинхронният изпълнителен двигател (АИД) е разработен за нуждите на автоматизираните системи за управление и удовлетворява посочените изисквания. Това е двуфазна асинхронна машина с малка мощност, която притежава кух неферромагнитен кафезен ротор. Статорната намотка на двигателя е двуфазна и се състои от две еднакви еднофазни намотки – възбудителна (ВН) и управляваща (УН), разместени пространствено върху статорния магнитопровод на 90 градуса. Намотките се захранват от двуфазна система напрежения, като ВН е включена непрекъснато към източник на напрежение U_B , а УН се захранва от източник на напрежение U_Y тогава, когато ротора на двигателя трябва да се завърти. При захранване и на двете намотки в двигателя се създава въртящо магнитно поле, което индутира напрежения в късо съединената роторна намотка. От взаимодействието на токовете в роторната намотка и въртящото се магнитно поле се създава въртящ момент, който завърта ротора по посока на въртене на полето.

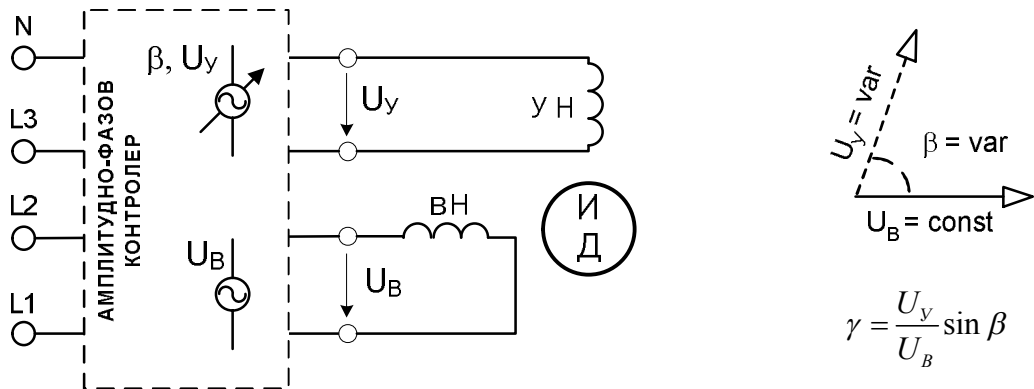
Управлението на честотата на въртене на АИД се осъществява чрез промяна на амплитудата или фазата на напрежението подавано на управляващата намотка U_Y . Основните методи за управление са: амплитудно управление (АУ), при което се променя амплитудата на напрежението U_Y , фиг.1; фазово управление (ФУ), при което се променя фазата на напрежението U_Y ; и амплитудно - фазово управление (АФУ), при което се променят както амплитудата така и фазата на същото напрежение, фиг.2. Най-често използваните методи са АУ и АФУ.

Обикновено контролерите, реализиращи посочените методи използват трифазна захранваща мрежа за създаване на необходимата за работата на двигателите двуфазна система напрежения U_B и U_Y . Амплитудните контролери осигуряват дефазирание от ъгъл $\beta=90^\circ$ между U_B и U_Y и неизменна амплитуда на напрежението U_B , захранващо възбудителната намотка. Промяната на оборотите на двигателя се постига само чрез изменение на амплитудата на напрежението на управляващата намотка U_Y . Амплитудно-фазовите контролери работят също с

неизменна амплитудата на U_B , но за да променят оборотите на АИД променят едновременно и амплитудата и фазата на U_y .



Фиг. 1. Амплитудно управление на АИД



Фиг. 2. Амплитудно - фазово управление на АИД

Когато напреженията U_B и U_y са с равни амплитуди и са дефазирани на ъгъл $\beta=90^\circ$, двигателят работи с кръгово въртящо магнитно поле и създава максимален въртящ момент. Промяната на амплитудата или дефазирането на U_y превръща въртящото магнитно поле от кръгово в елиптично, което е съпроводено с намаляване на създадения въртящ момент. Елиптичността на полето се оценява с “коефициента на сигнала” – γ . АИД работи с кръгово магнитно поле при $\gamma = 1$.

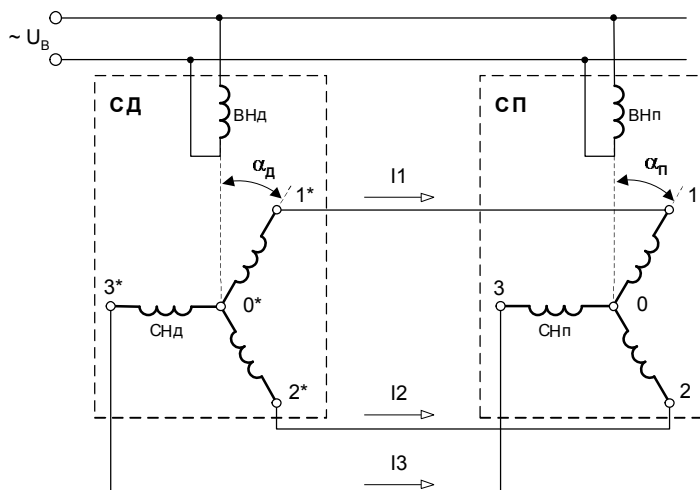
2. Селсини

Индукционните системи за синхронна връзка позволяват предаване на ъглово преместване между два механично несвързани вала. Те се реализират с помощта на два еднакви селсина, които са свързани помежду си само електрически. Единият селсин е свързан механично с водещия вал и се нарича *селсин датчик* (СД), а другият е свързан с водения вал и се нарича *селсин приемник* (СП). В установен режим на работа СП повтаря ъгловото преместване зададено от СД.

Селсините са маломощни въртящи се електрически машини за променлив ток, конструкцията на които наподобява тази на асинхронните машини с навит ротор. Статорната намотка на селсина създава магнитното поле на машината и се нарича *възбудителна* (ВН), а върху ротора му е разположена трифазна симетрична намотка свързана в звезда, която се нарича *синхронизираща* (СН). Трите извода от тази намотка се свързват с три контактни пръстена, върху които се плъзгат четки и осъществяват връзка на синхронизиращата намотка с външните вериги.

В системите за синхронно предаване на ъгъл между два механично несвързани вала селсинът приемник работи в *индикаторен* или *трансформаторен*

режим. Трансформаторният режим се използва, когато съпротивителния момент на задвижвания вал е значителен и СП не може сам да отработи зададеното ъглово преместване. В този случай преместването се извършва от изпълнителен двигател, който се управлява от механично и електрически свързания с него СП. При незначителни съпротивителни моменти СП работи в индикаторен режим и отработва сам заданието полученото СД. В индикаторен режим двата селсина се свързват както е показано на фиг.3.



Фиг. 3. Схема на свързване на еднофазни селсини в индикаторен режим

В индикаторна схема синхронизиращите намотки на селсините СНд и СНп се свързват насрещно, а възбудителните намотки ВНд и ВНп се захранват от източник на променливо напрежение U_B . Възбудителните намотки създават пулсиращи магнитни полета, които индуцират в синхронизиращите намотки СНд и СНп напрежения, пропорционални на ъглите които се сключват между осите на съответните възбудителна и синхронизираща намотки – α_d и α_p .

Ако валове на СД и СП са разположени така, че $\alpha_d = \alpha_p$, индуцираните напрежения в синхронизиращите намотки са еднакви, при което в трифазната верига образувана от синхронизиращите намотки не протичат токове и върху валове на двата селсина не действат въртящи моменти. Това състояние на системата се нарича съгласувано.

Когато валът на СД се завърти на ъгъл $\alpha_d \neq \alpha_p$ и се фиксира, в трифазната верига ще започнат да протичат токове поради разлика в индуцираните напрежения в синхронизиращите намотки на СД и СП. Токовете I_1 , I_2 и I_3 ще си взаимодействат с пулсиращото магнитно поле на СП и ще създадат въртящи моменти, които ще се стремят да доведат системата в съгласувано състояние. В идеалния случай валът на СП ще се завърти на ъгъл $\alpha_{потр} = \alpha_d$, при който токовете I_1 , I_2 и I_3 ще се нулират и селсинът приемник ще е отработил зададения ъгъл.

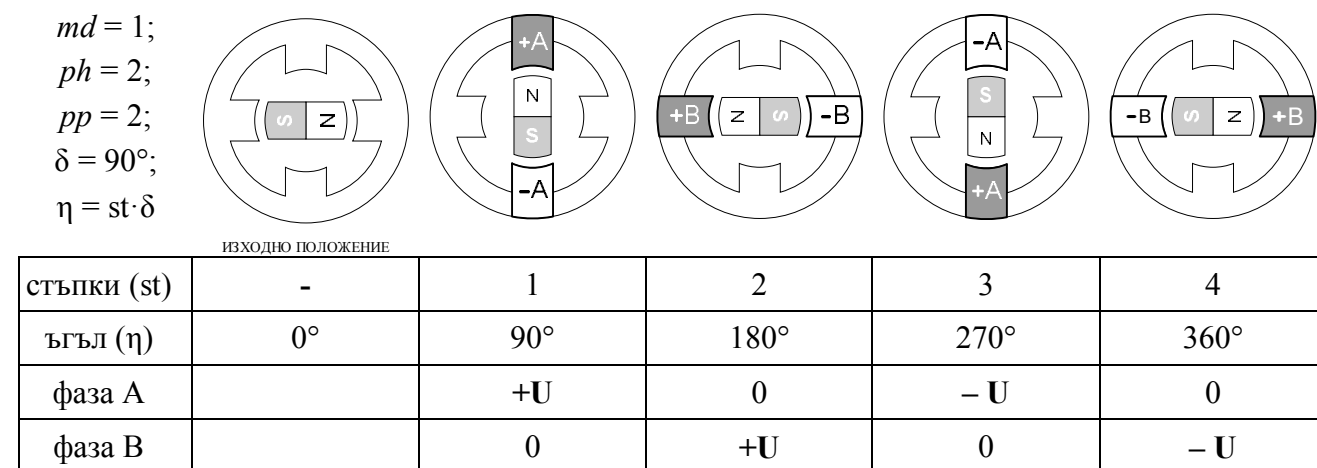
3. Стъпкови двигатели

Стъпковите двигатели (СтД) се използват при изграждане на отворени системи за управление, където не се обработва информация за ъглово положение или ъглова скорост. Това са въртящи се електрически машини, проектирани да преобразуват поредица от напрежителни импулси подадена на статорната им намотка в ъглово преместване на ротора. Всеки подаден импулс причинява завъртане на ротора на елементарен ъгъл, който се нарича *стъпка*. След

изпълнение на преместването, определено от броя на постъпките към двигателя импулси, роторът остава фиксиран в зададеното положение. Отклонението му от това положение изисква подаване на нова поредица импулси.

Конструкцията на СтД наподобява тази на синхронните машини с активен ротор. Обикновено статорната им намотка се изпълнява като двуфазна, но броя на фазите може да бъде и по-голям. Активният ротор на машината притежава постоянен магнит монтиран върху вала на двигателя. Фазните статорни намотки се захранват с напрежителни импулси с полярност: $+U$ или $-U$. Импулсите за различните фазни намотки са дефазирани помежду си, което съчетано с пространственото им разместване върху магнитопровода на статора, гарантира създаването на въртящо магнитно поле. От своя страна активният ротор на машината се стреми да следва магнитното поле на статора и винаги да застава в равновесно положение спрямо него. В резултат на това взаимодействие роторът се завърта със скоростта на въртене на магнитното поле, която се определя от честотата на подаваните напрежителни импулси. Последният импулс от всяка поредица осигурява трайно захранване на статорната намотка на СтД и гарантира фиксирано положение на ротора в края на движението.

Основните методи за управление работата на СтД са: *вълнова стъпка*, фиг. 4 и *пълна стъпка*, фиг. 5. При първия метод, във всеки един момент се захранва една от фазните намотки на статора, а при метода – пълна стъпка, едновременно се захранват две фазни намотки. Големината на ъгловото преместване δ съответстващо на всяка стъпка се определя от зависимостта: $\delta=360^\circ/(ph \cdot pp \cdot md)$, където с “ ph ” е означен броя на фазите на статорната намотка, “ pp ” отразява броя на полюсите на постоянния магнит разположен върху ротора, а използвания метод за управление се отразява с коефициента на метода “ md ”.



Фиг. 4. Управление на СтД по метода *вълнова стъпка*

Управлението по метода *вълнова стъпка* е илюстрирано на фиг. 4 за двуфазен СтД притежаващ два полюса в активния си ротор. Тъй като коефициента на метода при този тип управление е $md=1$, то големината на ъгловото преместване за всяка стъпка на разглеждания двигател ще бъде $\delta=90^\circ$ ($\delta=360^\circ/(1 \cdot 2 \cdot 2)$), т.е. на всяка стъпка роторът на двигателя се завърта на ъгъл 90° . Следователно ъгловото преместване на ротора “ η ” ще да се определи от броя на стъпките (st) и δ чрез израза – $\eta = st \cdot \delta$

Управлението на СтД по метода *пълна стъпка* също използва коефициент на метода $md=1$. Това управление се предпочита, тъй като съвместната работа на фазните намотки на двигателя гарантира създаването на по-голям въртящ момент. Възможните положения на ротора на описания по-горе СтД са илюстрирани на фиг. 5. Тук едновременното захранване на фазните намотки създава въртящо магнитно поле, което насочва постоянния магнит върху ротора по оста между тях.

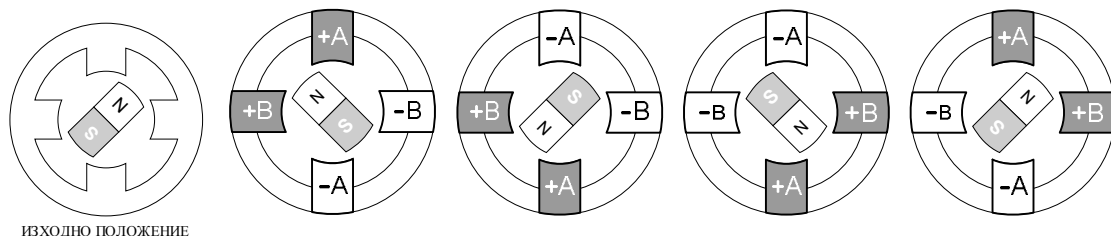
$$md = 1;$$

$$ph = 2;$$

$$pp = 2;$$

$$\delta = 90^\circ;$$

$$\eta = st \cdot \delta$$



стъпки (st)	-	1	2	3	4
ЪГЪЛ (η)	0°	90°	180°	270°	360°
фаза А		+U	-U	-U	+U
фаза В		+U	+U	-U	-U

Фиг. 5. Управление на СтД по метода *пълна стъпка*

Сравняването на положението на ротора в разгледаните методи подсказва, че комбинирането им би постигнало ъглово преместване $\delta=45^\circ$ на всяка стъпка. Такъв подход за въздействие върху СтД е известен като управление в режим *микростъпка*. Контролерите, които го реализират, управляват полярността и дефазирването на импулсите захранващи статорните намотки и регулират тока в тях. Това позволява да се постигнат стойности за коефициента на метода md съответно $md=2,4,8$ и т.н., което намалява md пъти основната стъпка на двигателя δ . Управляващото въздействие върху СтД в режим на управление *микростъпка* при $md=2$, (половин стъпка) е показано на фиг. 6.

$md = 2; ph = 2; pp = 2; \delta = 45^\circ; \eta = st \cdot \delta$									
стъпки (st)	-	1	2	3	4	5	6	7	8
ЪГЪЛ (η)	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
фаза А		+U	+U	0	-U	-U	-U	0	+U
фаза В		0	+U	+U	+U	0	-U	-U	-U

Фиг. 6. Управление на СтД в режим *микростъпка* (половин стъпка)

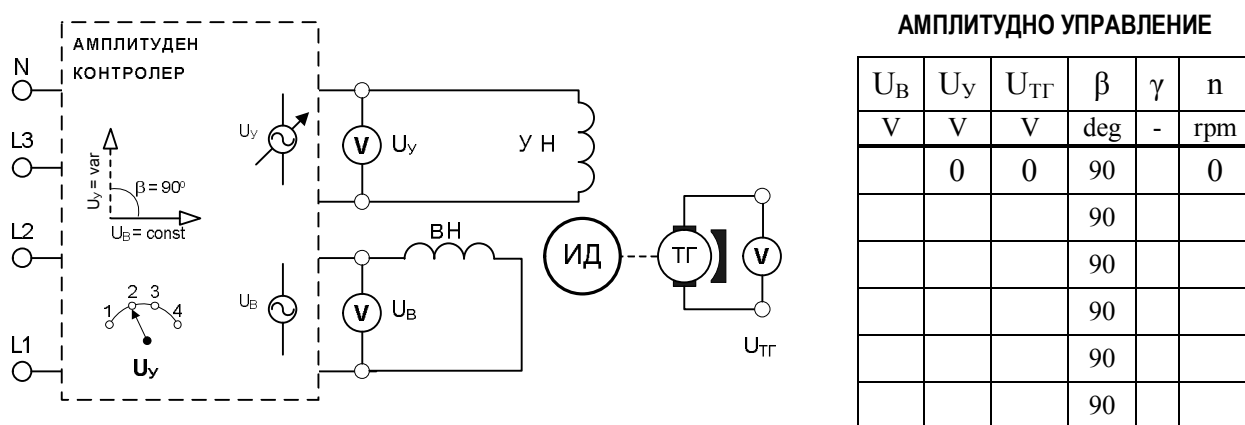
Въпреки, че режимът на управление *микростъпка* изглежда изключително привлекателен, трябва да се посочи, че основният му недостатък е значително намаляване на създавания от СтД въртящ момент (така при коефициент на метода $md=16$, двигателят създава въртящ момент по-малък от 10% от номиналния). Голямо предимство на управлението в режим *микростъпка* е значителното намаляване на механичния шум, подобряване на плавността на движение на двигателя и намаляване на опасността от навлизане в механичен резонанс със задвижваните механизми.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

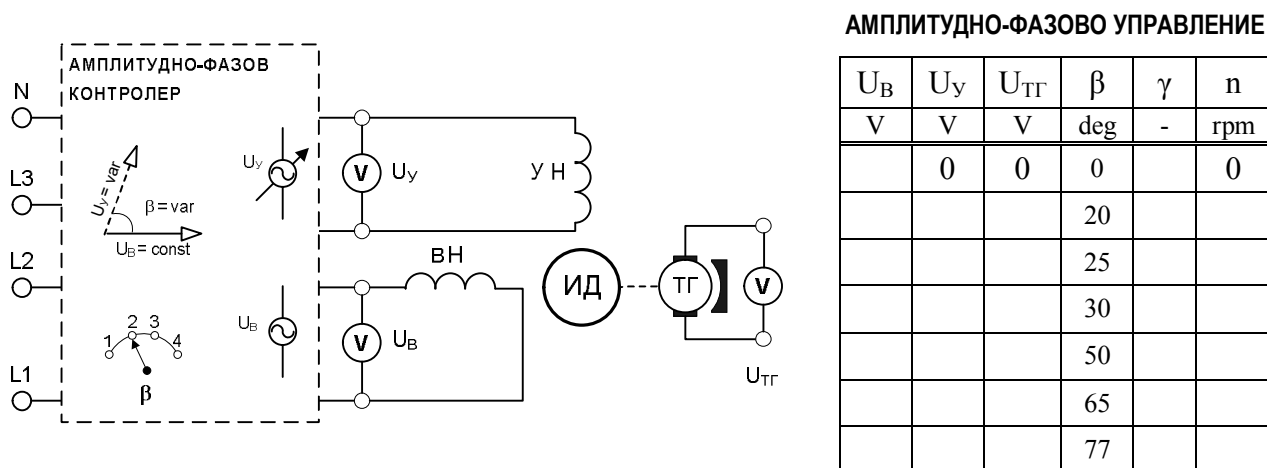
1. Асинхронен изпълнителен двигател

Експерименталната работа се извършва върху лабораторна постановка, която се захранва от източник на трифазна симетрична система напрежения. Постановката съдържа двуфазен АИД и контролери за амплитудно и амплитудно-фазово управление. Двигателят е куплиран с тахогенератор, изходното напрежение $U_{ТГ}$ на който е пропорционално на оборотите на въртене.

За изследване възможностите на амплитудното управление се съставя опитна постановка, в която управляващата и възбудителна намотка на АИД се свързват към амплитудния контролер, фиг. 7. Контролерът осигурява неизменна амплитуда на напрежението U_B и дефазирание от ъгъл $\beta=90^\circ$ между напреженията U_B и U_Y . Посредством вградения регулатор на напрежението U_Y се променя неговата амплитуда, което изменя скоростта на въртене на АИД. Резултатите от измерванията на U_Y , U_B и $U_{ТГ}$ се записват в таблицата посочена на фиг. 7.



Фиг. 7. Амплитудно управление на АИД

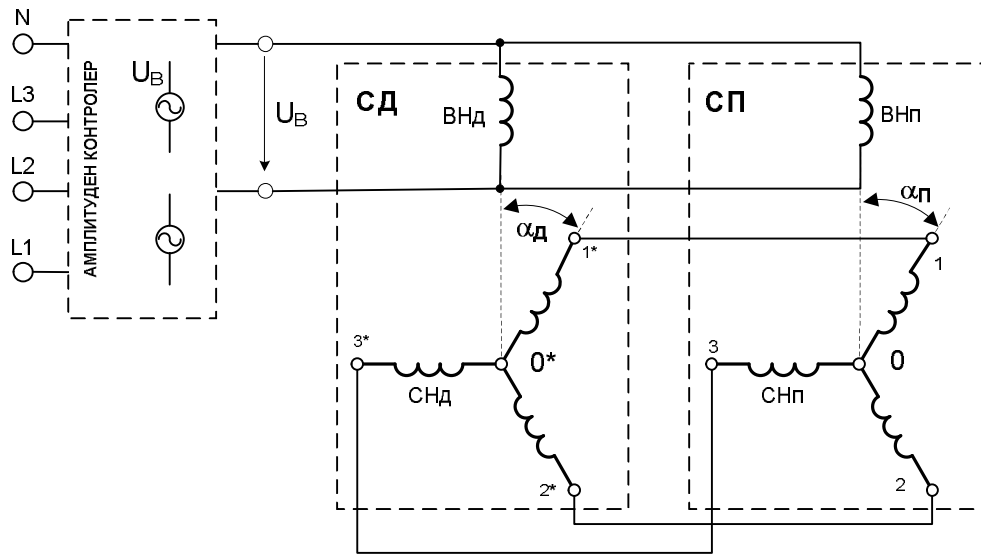


Фиг. 8. Амплитудно-фазово управление на АИД

Изследването на възможностите на амплитудно-фазовото управление се провежда със същия АИД като се сменя амплитудния контролер с амплитудно-фазов, фиг. 8. Новият контролер разполага с регулатор на дефазирането β , промяната на положението на който, изменя амплитудата и дефазирането на U_Y спрямо напрежението на възбудителната намотка U_B . Тези изменения променят скоростта на въртене на АИД, а за количествена оценка на влиянието им се измерват U_Y , U_B и $U_{ТГ}$. Резултатите се записват в таблицата посочена на фиг. 8.

2. Селсини

Изследването на възможностите на селсините за осъществяване на синхронна връзка между два механично несвързани вала се извършва върху лабораторна постановка, която съдържа два еднофазни селсина свързани електрически помежду си както е показано на фиг. 9. Възбудителните намотки на машините се захранват с напрежение U_B , генерирано от амплитудния контролер на АИД. След включване на захранващото напрежение двата селсина застават в съгласувано положение, т.е. $\alpha_D = \alpha_{СП}$. Задвижването на вала на СД се осъществява чрез фиксатор, който позволява промяна на ъгъл α_D със стъпка 30° . Всяка промяна на α_D предизвиква разсъгласуване на системата и поражда въртящ момент в СП. Следва завъртане на вала на СП на ъгъл $-\alpha_{Потр}$, при който отново се достига до съгласувано състояние на системата. Големината на отработеното от СП ъглово завъртане се отчита от нониуса на свързания с вала му измерител на ъглово преместване. Резултатите се записват в таблицата на фиг. 9.



α_D	deg	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$\alpha_{Потр}$	deg													
$\Delta\alpha$	deg													

Фиг. 9. Изследване на система за синхронна връзка изградена чрез селсини

3. Стъпков двигател

Изследването на възможностите за управление на стъпковите двигатели се извършва върху постановка която съдържа: СтД, контролер за управлението му и инкрементален енкодер (Ер) за измерване на реализираното от двигателя ъглово преместване, фиг. 10. Използваният СтД е двуфазен ($ph=2$), разполага с петдесет полюса върху активния си ротор ($pp=50$) и в режим на управление *пълна стъпка* ($md_1=1$) следва да завърта вала си на стъпка $\delta_1=3,6^\circ$ на всеки импулс подаден от контролера. Големината на стъпката δ_1 е определена от зависимостта:

$$\delta_1 = \frac{360^\circ}{md_1 \cdot ph \cdot pp} = \frac{360^\circ}{1 \cdot 2 \cdot 50} = 3,6^\circ.$$

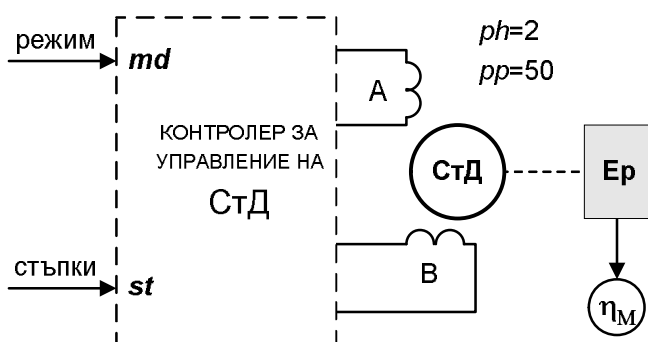
Ако контролера подаде към СтД st_X броя импулси (стъпки), предполагаемото ъглово преместване на ротора му – η_E може да се оцени чрез: $\eta_E = st_X \cdot \delta_1$.

Определянето на необходимия брой стъпки st_X за постигане на желано ъглово преместване η^* изисква предварително изчисляване на стъпката δ_X за съответния режим (md_X), с която в последствие st_X се изчислява от зависимостта:

$$st_X = \text{Integer} \left(\frac{\eta^*}{\delta_X} \right), \text{ където } \delta_X = \frac{360^\circ}{md_X \cdot ph \cdot pp}$$

Тъй като st_X е цяло число, то ъгловото преместване съответстващо на този брой стъпки – η_E , може да се различава от η^* , но разликата ще бъде по-малка от големината на изчислената ъглова стъпка δ_X

В постановката е вграден и микрокомпютър, който позволява на оператора както да променя режима на работа на СтД, така и да изменя броя на подаваните напрежителни импулси (стъпки). Компютърът обслужва и инкременталния енкодер, като постъпилата от него информация за абсолютната стойност на ъгловото положение на ротора на СтД – η_M се изобразява на дисплей в градуси. Изследването се провежда за режими на управление ($md_X=1, 2, 4, 8$). За всеки режим, предварително се определят необходимия брой стъпки st_X , за постигане на желаните премествания на ротора η^* . Резултатите от измереното фактическо преместване на ротора – η_M се попълват в таблица от фиг. 10.



η^*	md_X	δ_X	st_X	η_E	η_M	$\eta_E - \eta_M$	$\Delta\eta$
deg	–	deg	–	deg	deg	deg	%
0	1						

Фиг. 10. Изследване на възможностите за управление на СтД

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

1. Асинхронен изпълнителен двигател

В лабораторната работа се изследват възможностите за промяна на скоростта на движение на АИД при прилагане на амплитуден и амплитудно-фазов методи за управление. Сравнението на двата метода изисква да се оцени коефициента на импулса γ и да се измерят оборотите на АИД за всяко едно от приложените въздействия. Коефициентът γ се изчислява от големината на захранващите напрежения U_B и U_Y и дефазирането между тях β , а оборотите на двигателя – n се определят от напрежението на тахогенератора U_{TG} , чрез изразите:

$$\gamma = \frac{U_Y}{U_B} \sin \beta \quad \text{и} \quad n = k_{TG} \cdot U_{TG}, \text{ където } k_{TG} = 1000 \text{ rpm/V}$$

Получените резултати, събрани в таблиците на фигури 7 и 8, позволяват да се построят в една координатна система характеристиките $n=f(\gamma)$ за всеки един от изследваните методи за управление.

2. Селсини

Проведеното изследване на функционалността на системата електрически вал, базирана на използването на селсини, позволява да се определи точността на предаване на ъглово преместване. Ъгловата грешка на системата $\Delta\alpha$ се определя като разлика от зададеното – α_D и отработено преместване – $\alpha_{Потр}$:

$$\Delta\alpha = \alpha_D - \alpha_{Потр}$$

Изследването се провежда със стъпка от 30° , осигурени от фиксатора, задвижващ вала на СД. Получените резултати, събрани в таблицата на фигура 9, се използват за да се построи кривата на системната грешка $\Delta\alpha=f(\alpha_D)$ за един пълен оборот.

3. Стъпков двигател

Проведеното изследване на поведението на СтД в различни режими на управление позволява да се оцени точността на изпълнението – η_M на зададеното от оператора ъглово преместване – η_E . Реализираната при работата на СтД относителна грешка $\Delta\eta$ се определя от израза:

$$\Delta\eta = \frac{\eta_E - \eta_M}{\eta_E} \cdot 100, \%$$

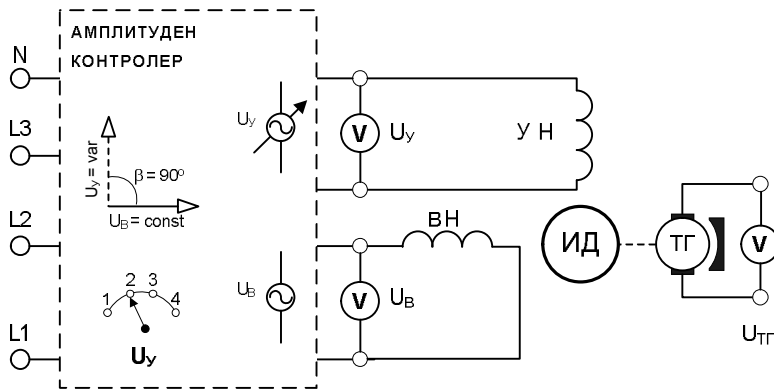
Резултатите от измерванията събрани в таблица 10 се използват за да се построят в една координатна система характеристиките $\Delta\eta=f(\eta_E)$ за всеки един от изследваните режими на управление – $md = 1, 2, 4, 8$.

Контролни въпроси

1. Какви са наименованията на намотките на двуфазния АИД?
2. Посочете особеностите на използваните в лабораторната работа методи за управление на скоростта на движение на АИД?
3. Какво по форма е въртящото магнитно поле на АИД при управление с коефициент на сигнала $\gamma=1$?
4. Какви са необходимите условия за постигане на кръгово въртящо се магнитно поле в двуфазните АИД?
5. Посочете наименованията на намотките на електрическата машина селсин ?
6. Как се свързват помежду си намотките на два селсина в една индикаторна система за синхронна връзка?
7. Какви са възможните режими на работа на селсинът приемник в индукционните системи за синхронна връзка ?
8. Посочете особеностите на статорната намотка на двуфазен стъпков двигател? Какво е разположено върху ротора на същия двигател?
9. Посочете разликите между основните методи за управление на стъпковите двигатели?
10. От какво зависи големината на стъпката на стъпков двигател?

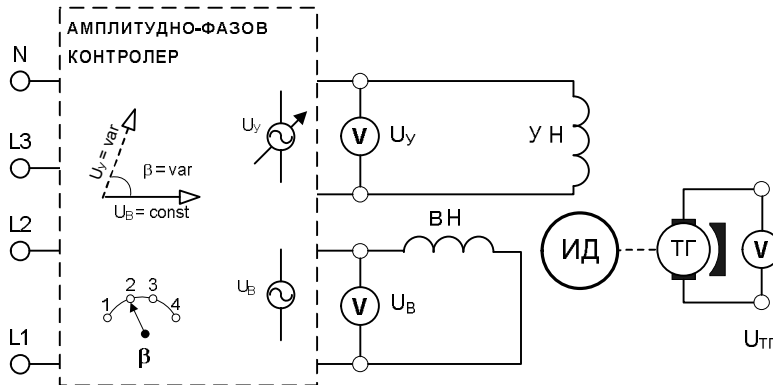
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА СТЕЦИАЛНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ

1. Асинхронен изпълнителен двигател



АМПЛИТУДНО УПРАВЛЕНИЕ

U_B	U_y	$U_{TГ}$	β	γ	n
V	V	V	deg	-	rpm
	0	0	90		0
			90		
			90		
			90		
			90		

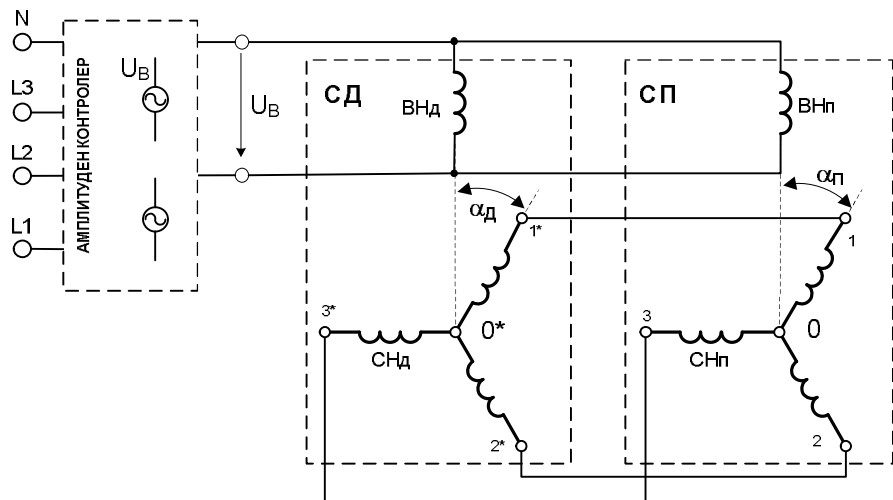


АМПЛИТУДНО-ФАЗОВО УПРАВЛЕНИЕ

U_B	U_y	$U_{TГ}$	β	γ	n
V	V	V	deg	-	rpm
	0	0	0		0
			20		
			25		
			30		
			50		
			65		
			77		

$$\gamma = \frac{U_y}{U_B} \sin \beta; \quad n = k_{TГ} \cdot U_{TГ}; \quad k_{TГ} = 1000 \text{ rpm/V}$$

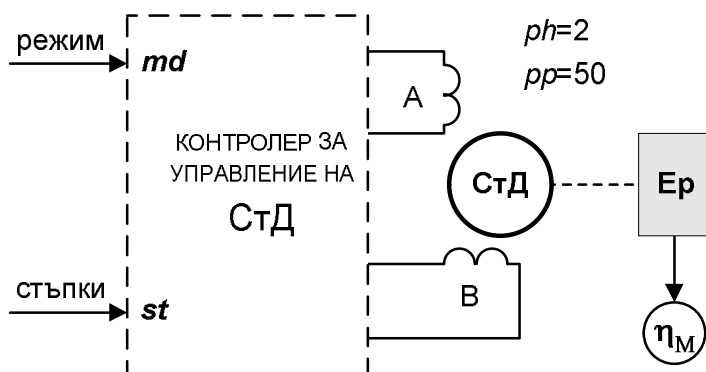
2. Селсини



$$\Delta\alpha = \alpha_d - \alpha_{ПOTP}$$

α_d	deg	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$\alpha_{ПOTP}$	deg													
$\Delta\alpha$	deg													

3. Стъпков двигател



η^*	md_x	δ_x	st_x	η_E	η_M	$\eta_E - \eta_M$	$\Delta\eta$
deg	—	deg	—	deg	deg	deg	%
0	1	3,6	0	0			
30	1	3,6	8	28,80			
45	1	3,6	13	46,80			
60	1	3,6	17	61,20			
90	1	3,6	25	90,00			
0	2	1,8	0	0			
-30	2	1,8	17	-30,60			
-45	2	1,8	25	-45,00			
-60	2	1,8	33	-59,40			
-90	2	1,8	50	-90,00			
0	4	0,9	0	0			
30	4	0,9	33	29,70			
45	4	0,9	50	45,00			
60	4	0,9	67	60,30			
90	4	0,9	100	90,00			
0	8	0,45	0	0			
-30	8	0,45	67	-30,15			
-45	8	0,45	100	-45,00			
-60	8	0,45	133	-59,85			
-90	8	0,45	200	-90,00			

$$\Delta\eta = \frac{\eta_E - \eta_M}{\eta_E} \cdot 100, \%$$