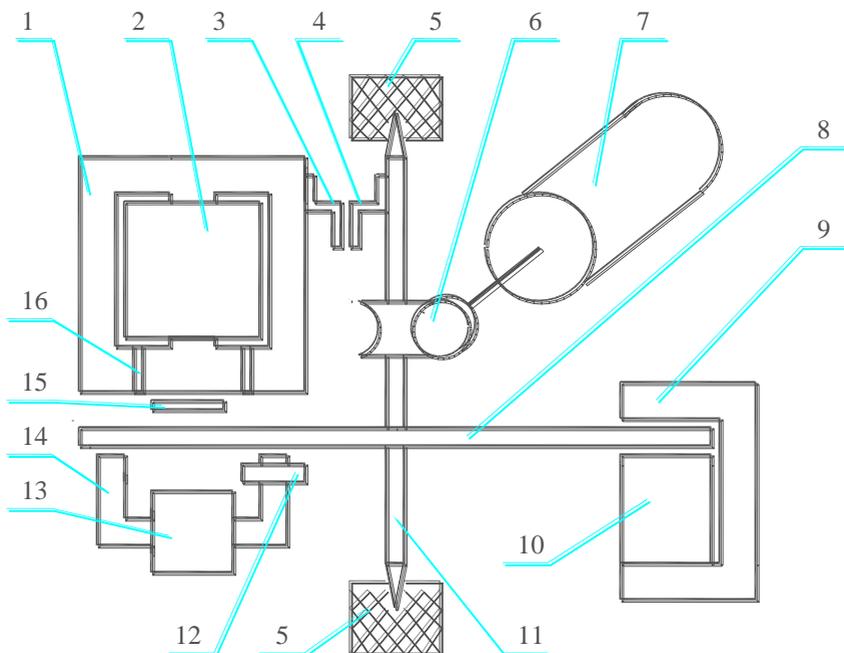


## 15 Индукционные приборы

### Индукционный измерительный механизм

Принцип действия данного механизма основан на взаимодействии магнитных потоков двух обмоток с токами, наведенными этими полями в алюминиевом диске. В результате такого взаимодействия алюминиевый диск вращается.



Важнейшей конструкционной деталью индукционного механизма является замкнутый ферромагнитный сердечник 1 набранный из пластин электротехнической стали толщиной 0,35 мм. На сердечнике размещается обмотка 2 содержащая большое количество витков тонкого провода и обладающая большой индуктивностью, в результате чего ток в ней отстаёт от напряжения на угол близкий к  $90^\circ$ . Имеется также разомкнутый ферромагнитный сердечник 14, на котором размещается обмотка 13 и короткозамкнутое кольцо 12. Обмотка 13 содержит

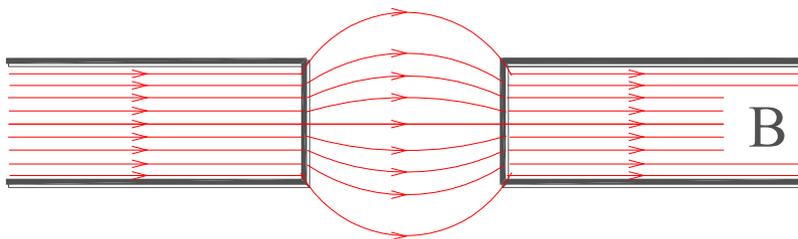
небольшое количество витков толстого провода, что позволяет пропускать через неё значительные токи (до 10 А).

Между сердечниками 1 и 14 размещается алюминиевый диск 8 закреплённый на оси вращения 11. Вблизи алюминиевого диска недалеко от отверстий 16 в сердечнике 1 размещается никелевая структура из проводящего материала 15.

Вблизи диска установлен постоянный магнит 10 с магнитопроводом 9. Для подсчёта количества оборотов диска используется червячный редуктор 6 и механический счётчик 7. На оси вращения диска закреплён ферромагнитный лепесток 4.

Обмотки 2 и 13 подключаются к цепи переменного тока, обмотка 2 параллельно потребителю, обмотка 13 последовательно с ним.

Переменный ток обмотки 2 создаёт переменный магнитный поток, замыкающийся в основном по замкнутому ферромагнитному сердечнику 1. В этом сердечнике имеются две щели 16 (воздушные зазоры малой толщины); при прохождении магнитного потока сердечника 1 через воздушные зазоры 16 происходит выпучивание магнитных силовых линий.



В результате выпучивания магнитных силовых линий часть магнитного потока обмотки 2 пронизывает алюминиевый диск, находящийся вблизи воздушных зазоров в сердечнике 1. В результате такого пронизывания в алюминиевом диске наводятся токи.

Если по обмотке с малым количеством витков 13 пропустить ток, то создаваемый этой обмоткой магнитный поток также будет пронизывать алюминиевый диск и наводить в нём токи.

При взаимодействии токов в диске, наведенных магнитным потоком обмотки 2 с магнитным полем обмотки 13 возникает вращающий момент, под действием которого диск начинает вращаться.

$$M_B = c\Phi_1\Phi_2 \sin \alpha$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  – магнитные потоки 2 и 13 обмоток;

$c$  – постоянный конструктивный коэффициент;

$\alpha$  – угол сдвига фаз между потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

Для того чтобы частота вращения диска была пропорциональна вращающему моменту к диску прикладывается противодействующий момент, значение которого пропорционально частоте вращения диска.

Такой противодействующий момент создаётся постоянным магнитом 10, который своим магнитным полем пронизывает алюминиевый диск.

Так как магнитное поле такого магнита постоянно, то в стационарном состоянии алюминиевый диск (немагнитный материал) не взаимодействует с постоянным магнитом. Но как только диск начинает вращаться, от этого движения в нём наводятся токи Фуко по закону электромагнитной индукции. При взаимодействии токов Фуко с полем постоянного магнита возникает тормозной момент, значение которого пропорционально частоте вращения диска.

Таким образом, в данном механизме частота вращения диска пропорциональна произведению двух магнитных потоков. Если сделать так, что один из них будет пропорционален напряжению на участке цепи, а второй пропорционален току участка цепи и синус угла сдвига между потоками  $\sin\alpha$  сделать равным косинусу  $\varphi$ , где  $\varphi$  – угол сдвига фаз между током и напряжением участка цепи, то в результате получается, что вращающий момент пропорционален активной мощности участка цепи.

Для того, чтобы добиться равенства  $\sin\alpha = \cos\varphi$  необходимо осуществить сдвиг потоков друг относительно друга на некоторый угол.

В механизме сдвиг потоков осуществляется путём смещения по фазе магнитного потока катушки 13. Достигается это размещением на разомкнутом ферромагнитном сердечнике 14 короткозамкнутого витка 12. Магнитный поток проходит через виток, за счёт тока в этом витке сдвигается по фазе.

Для точной настройки отмеченного равенства  $\sin\alpha = \cos\varphi$  каждый виток состоит из набора алюминиевых пластинок кольцевой формы. Угол сдвига будет определяться количеством таких кольцевых пластинок. При изготовлении механизма таких пластинок на сердечник размещают с избытком, а затем после изготовления лишние пластинки размыкают (перекусывают); в результате такой настройки частота вращения диска получается пропорциональной активной мощности цепи. Тогда количество оборотов диска будет указывать на значение энергии, передаваемой от источника к потребителю.

Чтобы механизм учитывал активную энергию, подаваемую на какую либо нагрузку, обмотку 2 подключают параллельно нагрузке – её магнитный поток пропорционален напряжению нагрузки, а обмотку 13 включают последовательно с нагрузкой и тогда её магнитный поток пропорционален току нагрузки.

Подсчитывая с помощью счётного механизма количество оборотов диска можно измерять электрическую энергию, передаваемую в нагрузку. При малых нагрузках, когда создаваемый вращающий момент соизмерим с моментом от сил трения в подшипниках и в счётном механизме, возникает большая ошибка и нарушается пропорциональность между активной мощностью и постоянной вращения диска. Для устранения отмеченной погрешности в механизме создаётся дополнительный вращающий момент, с помощью которого компенсируется тормозной момент от сил трения. Этот момент не зависит от активной мощности нагрузки. Для его создания магнитный поток обмотки 2 разбивается на две части, между которыми создаётся сдвиг по фазе.

Достигается данный сдвиг за счёт того, что часть магнитного потока обмотки 2 пропускают через короткозамкнутое кольцо из проводникового материала. Поток, проходящий внутри кольца, начинает отставать по фазе от потока, проходящего вне кольца. В результате и формируется необходимый сдвиг по фазе между двумя этими потоками. Эти два потока обмотки 2 пронизывают алюминиевый диск и создают дополнительный вращающий момент. На практике значение этого дополнительного вращающего момента делается несколько больше, чем тормозной момент от сил трения. Так как вращающий момент больше тормозного, то диск будет всё время вращаться. Чтобы этого не

происходило, в механизме используется специальное устройство, которое состоит из двух лепестков ферромагнитного материала 3 и 4. Один из этих лепестков (4) закреплён на оси вращения диска и перемещается вместе с диском. А второй лепесток (3) закреплён на неподвижной части, на магнитопроводе 1. В определённом положении диска подвижный и неподвижный лепестки сближаются, и между ними возникает сила притяжения, которая и создаёт дополнительный тормозной момент, останавливающий в этом положении диск. Так как компенсирующий силы трения момент создаётся с помощью магнитного потока обмотки 2, значение которого пропорционально напряжению нагрузки, то значение компенсирующего момента тоже зависит от напряжения на нагрузке и при увеличении напряжения момент этот возрастает. При определённом значении напряжения этот момент становится настолько большим, что преодолевает тормозной момент, создаваемый лепестками 3 и 4.

В этом случае диск начинает самопроизвольно вращаться. Самопроизвольное вращение диска при отсутствии тока нагрузки называется самоходом счётчика.

Самоход счётчика может появиться при повышенных напряжениях сети. Если же самоход счётчика получается при номинальном напряжении, то такой счётчик неисправен.

На шкале индукционного счётчика рисуют условный значок – окружность с точкой в центре, снизу пересеченную отрезком горизонтальной линии. Счётчики электрической энергии могут быть однофазными и трёхфазными. В трёхфазном счётчике на алюминиевый диск действуют две или три системы, каждая из которых состоит из обмоток аналогичных обмотке 2 и обмотке 13.

Соответствующим изменением угла сдвига фаз между потоками параллельных и последовательных катушек 2 и 13 можно добиться, чтобы вращающий момент такого механизма был пропорционален реактивной мощности в нагрузке. В этом случае счётчик начинает учитывать количество реактивной энергии, потребляемой нагрузкой.