

ЛИЦЕЙ № 1580 при МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Лабораторный практикум по общей физике  
(электричество и магнетизм)

## **Электромагнитная индукция. Взаимоиндукция.**



Москва 2012

## Краткая историческая справка. Никола Тесла.

Изобретателем переменного тока является гениальный сербский ученый – экспериментатор Никола Тесла, который создал более 800 изобретений, и только 300 из которых были запатентованы. Трудно перечислить на этих страницах все изобретения Николы Тесла. Вот только основные направления его изобретений. Многофазный переменный ток и многочисленные устройства и приборы, которые работают на переменном токе, в т. ч. многочисленные виды электродвигателей и трансформаторов. Открытие Теслой многофазного переменного тока открыло новую эру в электроэнергетике – эру передачи электроэнергии за тысячи километров для снабжения десятков тысяч фабрик и заводов, обеспечивающих массовое производство продукции. Каждая вышка линий передачи на Земле, каждая электростанция, каждый генератор и электродвигатель – это памятник Тесле. Электронные и люминесцентные лампы, которые кажутся новейшим достижением, он изобрел более 100 лет назад. Он шел к тому, чтобы озарить всю земную атмосферу. Он стал создателем роботов, разработал основы современной радиосвязи и телеметрии, реализовав эти идеи в радиоуправляемой лодке, изобрел радар, газовую турбину. Работая над идеей передачи энергии по всему земному шару, он открыл высокочастотный ток, рентгеновское излучение и влияние этого излучения на организм человека задолго до Рентгена. Изобрел летательный аппарат с вертикальным взлетом и посадкой. Способ обнаружения подводных лодок и многое, многое другое. Тесла был сверхчеловеком, который всего добился сам. Многие современные ученые считают, что тунгусский метеорит – это не метеорит, а результат экспериментов Тесла, направленный на незаселенный людьми район.

Никола Тесла родился в полночь с 9 на 10 июня 1856 года в деревушке Смилян в тогдашней австро – венгерской провинции Лика. Фамилия Тесла была уже известна более двух с половиной веков. Фамилия, как существительное, означает на сербском инструмент для работы по дереву, как топор, с лезвием перпендикулярным топорищу.

Отец, Милутин Тесла был настоятелем деревенской церкви, бывший военный, с образованием военного училища.

Мать, Джука Тесла происходила из старой церковной семьи, без образования. Тем не менее, именно от матери, как считал Тесла, унаследовал он изобретательский талант. Для облегчения домашнего труда мать придумывала множество разных приспособлений. Она помнила и читала наизусть тысячи сербских саг, обладала актерским талантом. Свои замечательные способности эта умная женщина передала и своим пятерым детям.

До пяти лет Никола рос среди лугов, гор и лесов Сербии. Когда ему исполнилось пять лет он начал учиться в сельской школе Смилян. Через несколько лет, в связи с повышением отца, семья переехала в город Госпич, где Никола продолжил образование в гимназии. Математика у него была любимым предметом. С детства Никола обладал сильным воображением. Если он думал о каком-то предмете, тот возникал перед ним, как реальная вещь и ему трудно было отличить эту видимость от окружающей его действительности. На уроках математики эта его удивительная способность очень помогала ему. При решении задачи у доски или за партой все операции и символы вырисовывались как решение задачи уже сразу после ее прочтения.

В доме у Тесла имелась богатая библиотека. Никола, не зная меры, поглощал одну книгу за другой, читая ночами напролет и не чувствуя никаких последствий недосыпания.

Гимназию Госпича Тесла окончил в 1870 году, будучи одним из лучших учеников. Склонность Николы к технике казалась отцу опасной, поскольку для занятия с ней требовалось хорошее здоровье, которого у Николы не было. Поэтому отец склонял Николу к церковной карьере. Однако в том же 1870 году Тесла поступил в высшее реальное училище в Карловаце, которое соответствовало статусу колледжа. В течении учебы жил у родственницы, постоянно страдая от недоедания. За три года окончил четырехгодичный курс. Яркое приятное впечатление у него осталось от учителя физики училища. Отныне Никола хотел посвятить себя экспериментам с электричеством. Еще будучи в Карловаце Никола заболел малярией. После окончания училища в 1873 году больным вернулся к родителям в Госпич и заразился еще и холерой. За девять месяцев находясь на волоске от смерти он был на грани полного физического истощения. В один из моментов пробуждения сознания Никола прошептал отцу: "Я мог бы поправиться... если бы вы... мне позволили изучать электротехнику..." Подавленный горем отец, потерявший ранее старшего сына, воскликнул: "Ты поступишь в лучшее инженерное училище в мире и станешь великим инженером." В безжизненных глазах Николы появился свет. И, действительно, жизненные силы вернулись к мальчику. Через некоторое время Никола выздоровел.

В 1875 году Никола поступил в высшее техническое училище австрийского города Граца, где стал изучать электротехнику. Уже в конце первого семестра он сдал экзамены по девяти предметам вместо четырех, уделяя на сон по четыре часа в сутки. Со второго курса стал специализироваться на физике, механике и математике. Декан отделения писал отцу Николы: "Ваш сын – звезда первой величины". Но рекомендовал оставить учебу из-за плохого состояния здоровья.

Уже в годы учения в училище Теслу озарила идея генерировать не постоянный ток, как было принято в то время, а переменный, за что преподаватели училища подняли его на смех.

В 1880 году благодаря материальной помощи родственников Тесла поступил на философский факультет Пражского университета, однако проучился всего один семестр и был вынужден искать работу. До 1882 года Тесла работал в Венгерской телефонной компании. Работая на предприятии, удалось скопить денег для оплаты года учебы в Пражском университете.

В конце 1882 года Тесла поступил на работу в филиал фирмы Эдисона в Париже (Continental Edison Company), надеясь продвинуть свою давнишнюю идею переменного тока. За работу и созданные им автоматические регуляторы тока ему было обещано вознаграждение в 25000 долларов. Однако руководство фирмы обещание не выполнило. Тесла уволился из фирмы и уехал в США. В этот раз он предложил реализовать свои идеи непосредственно Томасу Эдисону основателю Edison Machine Works, убеждая его перейти на выпуск электрооборудования для переменного тока. В то время удавалось передавать постоянный ток не более чем на 1,5 км. Эдисон, будучи бизнесменом скупавшим патенты, не в состоянии был понять гениальные идеи Тесла. Позже он признал, что это была его самая большая ошибка в жизни. За многочисленные усовершенствования, которые сделал Тесла, Эдисон пообещал ему 50000 долларов. Однако вместо выполнения обещания ответил ему: “Тесла, вы не понимаете американского юмора”...

Менее чем за год пребывания в США Тесла успел себя показать уникальным специалистом. Оставив Эдисона весной 1885 года Тесла принял предложение от группы промышленников – инвесторов создать свое собственное предприятие для выполнения их заказов. С этого времени он, наконец, получил возможность работать самостоятельно.

Чтобы проводить эксперименты по передаче энергии на большие расстояния в июле 1888 года Тесла продал более сорока своих патентов по переменному току предпринимателю Джорджу Вестингаузу, тем самым сделав его лидером в производстве электрооборудования, чем является и в настоящее время фирма Westinhouse Electric.

Таким образом, к 1892 году техническое сообщество повсеместно признало Теслу бесспорным изобретателем двигателя переменного тока и многофазной системы. Поэтому никто уже не оспаривал его приоритета и не пытался похитить его лавры. Как подтверждение правоты его идей на Ниагарском водопаде успешно работали его турбины и генераторы переменного тока. Он выступал на многочисленных съездах и собраниях ученых в Америке и Европе, посетил Всемирную выставку в Париже 1889 года, где встретился с русскими учеными Доливо – Добровольским М.О. и изобретателем промышленных трансформаторов Усачевым И.Ф.

С 1888 по 1895 год Тесла занимался исследованиями высокочастотных электромагнитных полей высокой мощности, получив множество патентов. Он посвятил себя идее беспроводной передачи энергии в любую точку земного шара. Для этих целей изобрел высокочастотный, высоковольтный резонансный трансформатор, известный как трансформатор Тесла, первый образец которого был установлен в местечке Колорадо Спрингс. Там в процессе демонстрационных экспериментов Тесла зажигал до 200 электрических ламп на расстоянии 40 км. При этом вокруг башни, на которой находилась антенна трансформатора, возникали молнии длиной до 40 м и были слышны громовые раскаты за 20 км, вокруг башни пылал тридцатиметровый световой шар. В своих экспериментах Тесла планировал использовать земной шар и ионосферу, как резонансную систему. Проект был продолжен. Для этого в предместье Нью - Йорка Лонг - Айленде была сооружена еще одна башня в верхней части, которой был установлен 55 тонный медный шар, диаметром 22 м. (Фотография башни помещена на титульной странице описания). В рамках проекта такие же башни должны были быть поставлены в Амстердаме, Китае и на полюсах земного шара. Летом 1903 года, в полночь прошел пробный пуск единственной башни в Лонг – Айленде. Очевидцы так описывают этот эксперимент. “Ослепительно яркие пряди электрической плазмы длиной более сотни миль соединяли сферический купол башни с небом., так, что ночь моментально превратилась в день. Все присутствующие на улице люди излучали светлоголубое мистическое пламя... Сами себе мы казались призраками.” Журналисты писали, что он зажег небо на пространстве в тысячи миль над просторами океана. Разработки Теслы в это время финансировал американский миллионер Стенли Морган, которому нужна была всего лишь радиосвязь Америки с Европой. На этом основании и соблазнившись предложением Маркони Морган прекратил финансирование экспериментов.

Будучи гениальным ученым и изобретателем Тесла был плохим бизнесменом, что в природе, как правило, одно отрицает другое. Поэтому Тесла постоянно испытывал недостаток в средствах. Тем не менее труд своих сотрудников он оплачивал всегда высоко. Это свое отношение к людям он объяснял тем, что был чрезвычайно требователен к своим сотрудникам, которым не редко приходилось сутками не выходить из лабораторий в связи с проведением экспериментов. Многие бизнесмены, используя изобретения Теслы стали миллионерами, а псевдоученые, использовавшие открытия Теслы стали известными на весь мир, например, Маркони, считающийся изобретателем радио.

В 1915 году Никола Тесла и Томас Эдисон были номинированы на Нобелевскую премию по физике. Однако Тесла отказался от премии, объясняя это тем, что считает ниже своего достоинства быть лауреатом в

паре с Эдисоном. Никола Тесла был выше людских похвал. Он сполна испытал счастье ученого – первооткрывателя. Вот его слова, которые может подтвердить каждый ученый, постигший, хотя бы маленький фрагмент тайны природы: “Ничего невозможно сравнить с тем великим моментом, когда видишь как твой труд приносит желанный результат в виде успешного эксперимента, который подтверждает твои теории...”

О последних двух десятилетиях его жизни известно очень мало, его огорчало то, что молодые ученые были мало знакомы с его работами, поскольку в Америке замалчивали заслуги Теслы. В день его семидесятипятилетия он получил очень теплое поздравление от Альберта Энштейна. В честь дня восьмидесятилетия Теслы в 1936 году в тогдашней Югославии был открыт институт Теслы при участии правительства, ученых, предпринимателей. В Белграде состоялся Международный научный конгресс, посвященный его творчеству. Повсюду в стране, в т. ч. и его родной деревне Смилян прошли официальные торжества.

Тесла был в некотором смысле мистический человек, человек – загадка, человек, который опередил свое время на столетие. Например, благодаря своим видениям он не раз предотвращал несчастья своих близких друзей. Тесла всю жизнь прожил в одиночестве, считая, что он не вправе заводить семью и детей, отдавая всего себя науке. Столь же загадочна была его кончина. За три дня до своей кончины Тесла попрощался со своими друзьями и через три дня 8 января 1943 года горничная нью – йоркской гостиницы нашла его бездыханное тело, лежащим в постели и готовым к погребению, в белых носках.

Заслуги Николы Тесла перед наукой ученый мир оценил по достоинству. Среди многих широко известных кандидатов, таких как Фарадей, Араго, Ампер и многие другие, единицу “главного” параметра, характеризующего магнитное поле, а именно, индукцию магнитного поля, Международная электротехническая комиссия в 1956 году постановила назвать в честь Николы Тесла. Международной секцией Американского института инженеров была учреждена медаль Теслы, как высшей награды за работы в области электричества.

## Теоретическое введение. Переменный ток.

Переменный ток, в отличие от постоянного изменяет свою величину и направление во времени с некоторым периодом или, что тоже самое, с частотой. На рис. 1 показаны эпюры постоянного тока, эпюра а. Сила тока и его направление постоянны во времени. На остальных эпюрах показаны примеры переменных токов. На эпюре b показан переменный

ток, изменяющийся по гармоническому закону, который описывается функцией синуса:

$$i = I_m \sin \omega t \quad \text{где}$$

$I_m$  – амплитуда переменного тока,

$\omega = 2\pi \nu$  – циклическая частота переменного тока,

$\nu$  – частота переменного тока.

На эюрах с и d показаны примеры импульсных токов, которые являются разновидностью переменного тока. В промышленности и в быту во всем мире применяется переменный ток, изображенный на эюре b, частотой 50 Гц (в США и Канаде, по рекомендации Николы Тесла, традиционно сохраняется 60 Гц).

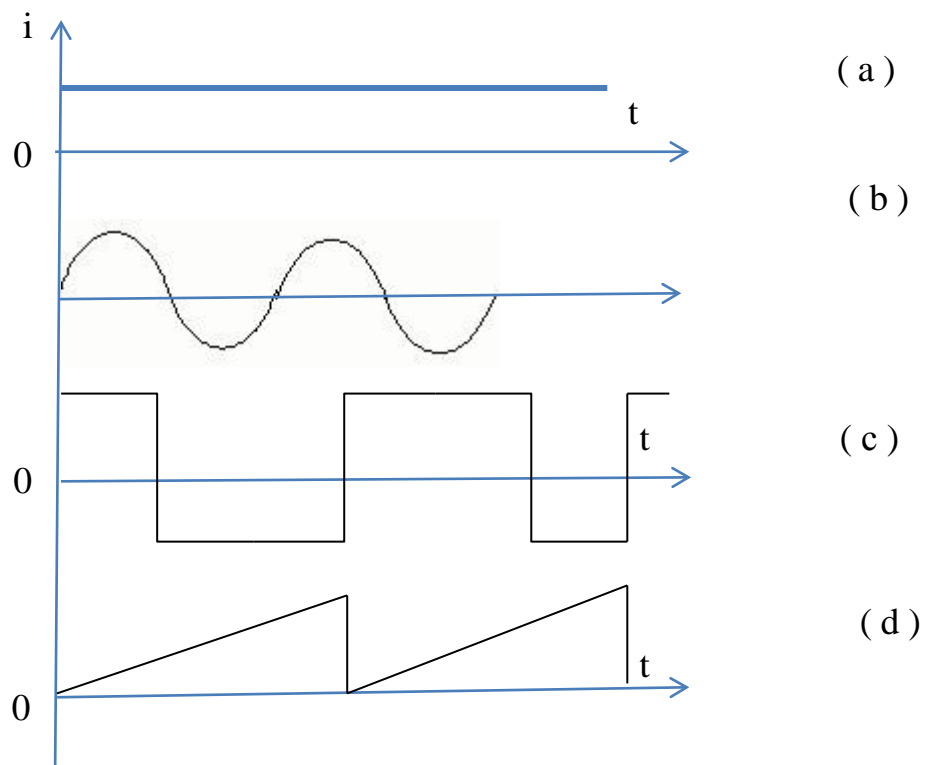


Рис. 1.

Очевидно, что при изменении силы тока в электрической цепи с индуктивностью  $L$  будет изменяться и магнитное поле в области проводника с током по тому же закону, следовательно:

$$L i = L I_m \sin \omega t \quad \text{т.е.} \quad \Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

В соответствии с законом электромагнитной индукции изменение магнитного потока приведет к наведению эдс в проводнике и в частности к взаимной индукции.

### Взаимная индукция.

Взаимная индукция, также как и самоиндукция является следствием явления электромагнитной индукции. Однако в отличие от самоиндукции, процесс взаимной индукции происходит в двух или более катушках индуктивности, находящихся в поле действия друг друга, рис. 1.

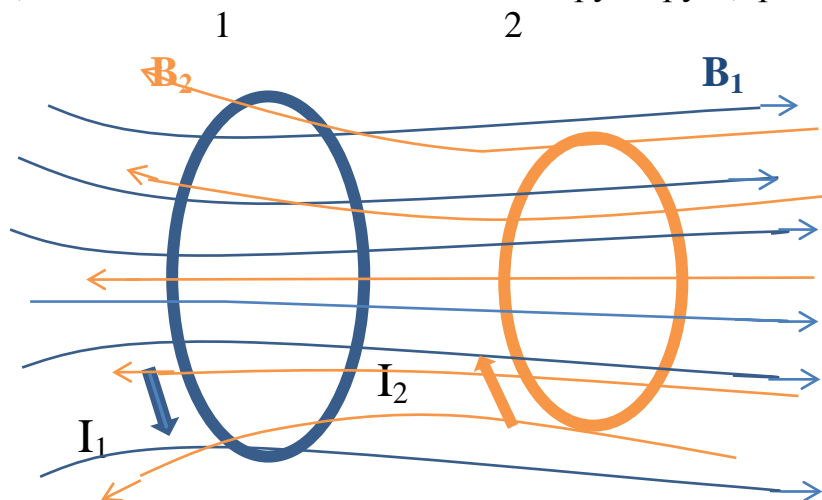


Рис. 1.

Взаимная индукция – это процесс наведения эдс в катушке индуктивности от другой катушки индуктивности, в которой изменяется магнитное поле при протекании по ней переменного тока. Рассмотрим явление взаимной индукции. На рис. 1 показаны два контура 1 и 2, расположенные близко друг к другу. Если в контуре 1 течет ток  $I_1$ , то он будет создавать вокруг контура магнитный поток, пропорциональный  $I_1$ . Часть этого магнитного потока будет пронизывать второй контур (точнее, площадь ограниченную вторым контуром).

$$\Phi_2 = L_{21} I_1$$

и индуцировать в ней эдс:

$$\mathcal{E}_2 = - L_{21} di_1 / dt$$

Такое же влияние будет проявляться со стороны второго контура, т.е.



при протекании в контуре 2 наведенного тока  $I_2$  возникнет магнитный поток второй катушки. Часть этого магнитного потока будет пронизывать контур 1:

$$\Phi_1 = L_{12} I_2$$

и индуцировать в ней эдс:

$$\mathcal{E}_1 = - L_{12} di_2 / dt$$

Контур 1 и 2 называются связанными контурами, а явление возникновения эдс в одном из контуров, при изменении силы тока в другом называется взаимной индукцией. Величины  $L_{21}$  и  $L_{12}$  называются взаимной индуктивностью контуров. Если среда вокруг контуров не является ферромагнитной, а форма и размеры катушек одинаковы, то  $L_{12} = L_{21}$ . Размерность взаимоиндуктивности та же что и у индуктивности т.е. Генри и их величина зависит от размеров, формы и взаимного расположения контуров. Если же среда вокруг контуров ферромагнитная, например катушки находятся на общем стальном сердечнике, то  $L_{21} \neq L_{12}$  из-за нелинейной зависимости магнитной проницаемости ферромагнетика в зависимости от напряженности поля.

## Трансформатор.

На основе явления взаимоиндукции можно передавать энергию электрического тока от одной катушки другой через свободное пространство, без гальванической связи между ними. На этом явлении основана работа трансформаторов, обеспечивающих передачу энергии электрического тока с одновременным повышением или понижением напряжения и силы тока. На рис. 2 показана схема трансформатора, имеющего две катушки индуктивности (обмотки трансформатора) с числом витков  $N_1$  и  $N_2$ . Катушки посажены на замкнутый сердечник, выполненный из ферромагнетика, т.е. вещества с высокой магнитной проницаемостью. Высокая магнитная проницаемость сердечника способствует концентрации магнитного потока катушек в теле сердечника, а это, в свою очередь, способствует концентрации магнитного потока в контурах этих катушек.

Если подвести к первичной обмотке переменное напряжение от генератора  $U_1$ , то в этой обмотке пойдет переменный ток  $I_1$ . Он создаст переменное магнитное поле  $B_{12}$  и, соответственно, переменный магнитный поток  $\Phi_{12}$ , который возбудит эдс во вторичной обмотке.

Если подключить к вторичной обмотке нагрузку  $R_H$ , то в этой нагрузке пойдет ток  $I_2$ .

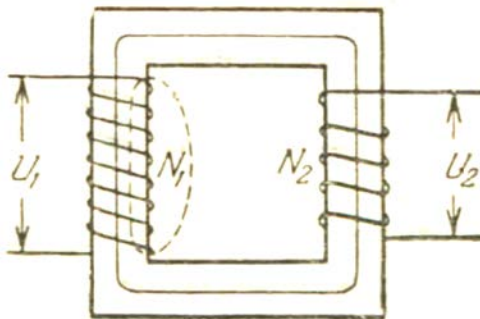


Рис.2.

Если  $U_1$  является периодически изменяющимся напряжением, то и  $U_2$  тоже будет изменяться по тому же закону. Величина наведенного напряжения  $U_2$  зависит от того, насколько полно магнитный поток первичной обмотки пронизывает вторичную обмотку, т.е. чем большая часть этого потока рассеивается, тем, при прочих равных условиях, наведенное напряжение будет меньше. Поэтому обмотки трансформатора располагают на замкнутом ферромагнитном сердечнике, по которому проходит практически весь магнитный поток первичной катушки, и поэтому он полностью пронизывает витки вторичной катушки. В связи с этим кпд трансформаторов может быть очень высоким, до 98 - 99 %. Кпд определяется соотношением:

$$\eta = P_2 / P_1 = (P_1 - \Delta P) / P_1 \quad \text{где} \quad (1)$$

$P_1$  и  $P_2$  мощности, соответственно, подаваемая на первичную обмотку и мощность на нагрузке вторичной обмотки.

$\Delta P$  – суммарные потери мощности в трансформаторе.

$$\Delta P = \Delta P_{O1} + \Delta P_{O2} + \Delta P_C \quad \text{где}$$

$\Delta P_{O1}$ ,  $\Delta P_{O2}$ ,  $\Delta P_C$  – потери мощности, соответственно на сопротивлении первичной обмотки  $r_1$ , сопротивлении вторичной обмотки  $r_2$  и потери в сердечнике трансформатора, связанные с перемагничиванием доменов ферромагнитного сердечника. С увеличением частоты трансформируемого тока потери на перемагничивание сердечника возрастают. При этом следует учесть, что вторичная обмотка сама никакой энергии не создает, а получает ее

из первичной обмотки, куда энергия поступает от генератора. Учитывая, что в обмотках протекает переменный ток, а также пренебрегая малыми потерями в сердечнике соотношение (1) можно записать в следующем виде:

$$\eta = (I_{1\text{эф}} U_{1\text{эф}} \cos\varphi - I_{1\text{эф}}^2 r_1 - I_{2\text{эф}}^2 r_2) / I_{1\text{эф}} U_{1\text{эф}} \cos\varphi \quad \text{где}$$

$I_{1\text{эф}}$ ,  $I_{2\text{эф}}$ ,  $U_{1\text{эф}}$  - эффективные значения токов в первичной и вторичной обмотках и эффективное значение напряжения в первичной обмотке,  
 $\cos\varphi$  - косинус угла между вектором тока и напряжения в первичной обмотке.

Далее можно сделать следующее допущение. При малых потерях в первичной обмотке можно рассматривать распределение мощности только во вторичной обмотке при подключенной нагрузке  $R_H$ , тогда:

$$\eta = U_2 I_2 / (U_2 I_2 + I_2^2 r_2) = U_2 / (U_2 + I_2 r_2) = U_2 / \mathcal{E}_2 \quad \text{где} \quad (2)$$

$U_2$  и  $I_2$  - напряжение и ток в нагрузке или, что тоже самое ток вторичной обмотки.

Сумма в знаменателе является эдс, наведенная во вторичной обмотке  $\mathcal{E}_2$ . Таким образом, с небольшой ошибкой значение кпд трансформатора можно определить как отношение падения напряжения на подключенной к вторичной обмотке нагрузки к эдс вторичной обмотки, при неизменном напряжении на первичной обмотке трансформатора (2). (Напомним, что за эдс принимают напряжение на разомкнутых контактах вторичной обмотки.) В действительности зависимость кпд трансформатора имеет более сложный характер. Однако свойство трансформатора увеличивать кпд с увеличением нагрузки, т.е. увеличением тока вторичной обмотки, сохраняется вплоть до предельных условий эксплуатации, которые ограничиваются температурой эксплуатации.

Эдс на вторичной обмотке трансформатора определяется отношением числа витков вторичной обмотки  $N_2$  к числу витков первичной обмотки  $N_1$ . Это соотношение называется коэффициентом трансформации  $n$ . Если во вторичной обмотке витков больше, чем в первичной, т.е. если  $N_2 > N_1$ , то коэффициент трансформации  $n > 1$  и трансформатор в этом случае является повышающим. Если  $N_2 < N_1$ , то  $n < 1$  трансформатор в этом случае является понижающим. Это соотношение вполне объяснимо. Очевидно, что эдс, которая наводится в обмотке, тем больше, чем больше ее индуктивность. А

индуктивность обмотки, в свою очередь, пропорциональна числу витков. Поэтому эдс, наведенная на вторичной обмотке, будет тем больше, чем больше  $N_2$ , и коэффициент трансформации будет определяться отношением:

$$N_2 / N_1 = \mathcal{E}_2 / \mathcal{E}_1 = n$$

Проанализируем, что происходит с токами в обмотках. Когда во вторичную обмотку включена нагрузка, то в этой обмотке течет ток  $I_2$ . Тогда величина эдс во вторичной обмотке будет равна:

$$\mathcal{E}_2 = U_2 + I_2 r_2 \quad \text{где}$$

$U_2$  – падение напряжения на нагрузке  $R_H$ ,  
 $I_2 r_2$  – падение напряжения на активном сопротивлении обмотки.  
Соответственно в первичной обмотке эдс равна:

$$\mathcal{E}_1 = U_1 + I_1 r_1 \quad \text{где}$$

$U_1$  – напряжение на первичной обмотке,  
 $I_1 r_1$  – падение напряжения на активном сопротивлении первичной обмотки.

Тогда коэффициент трансформации можно записать:

$$n = (U_2 + I_2 r_2) / (U_1 + I_1 r_1)$$

Как уже было отмечено, при незначительных потерях магнитного потока в магнитопроводе сердечника и активном сопротивлении первичной обмотки с небольшой ошибкой можно считать, что  $\mathcal{E}_1 = U_1$ , а мощность  $P_2$ , потребляемая во вторичной цепи, равна мощности  $P_1$  поступающей от генератора в первичную цепь, т.е.  $P_1 = P_2$ . С учетом этого фактора формулу для определения коэффициента трансформации можно записать:

$$n = (U_2 + I_2 r_2) / U_1 = \mathcal{E}_2 / U_1 \quad (3)$$

Соотношение силы токов  $I_1$  и  $I_2$  в обмотках также определяется коэффициентом трансформации  $n$ , но обратной его величиной, т.е. во сколько раз трансформатор повышает напряжение, во столько же раз он

понижает ток. Если, например,  $U_2$  в десять раз больше, чем  $U_1$ , то в те же десять раз ток  $I_2$  должен быть меньше, чем  $I_1$ . Очевидно, что только при этом условии мощности  $P_1$  и  $P_2$  в обеих обмотках могут быть одинаковыми.

Особо следует отметить, что вывод соотношений дан без учета комплексного характера нагрузки и реактивного сопротивления обмоток, которые в действительности необходимо учитывать при прохождении в электрических цепях переменного тока.

Важной особенностью трансформатора является то, что напряжение  $U_2$  на вторичной обмотке определяется самим устройством трансформатора, его коэффициентом трансформации. Коэффициент полезного действия зависит от токов  $I_2$  и  $I_1$  и, следовательно, от сопротивления нагрузки, чем меньше  $R_H$ , тем больше ток  $I_2$  (и вместе с ним  $P_2$ ) и, соответственно, больше ток  $I_1$  (и вместе с ним  $P_1$ ).

Таким образом, при передаче электроэнергии посредством линий электропередачи напряжение переменного тока можно повысить до десятков и сотен тысяч вольт посредством трансформаторов, при снижении тока на такую же величину, при сохранении передаваемой мощности. Значительный выигрыш при этом происходит за счет уменьшения передаваемых токов в проводах и, следовательно, потерь мощности в них. На этом принципе основана передача электроэнергии по проводам во всем мире. Однако помимо передачи электроэнергии трансформаторы широко применяются во многих электронных и электротехнических устройствах. В зависимости от этого трансформаторы могут классифицироваться по мощности, числу фаз преобразуемого напряжения, рабочей частоты, а также от конструктивных особенностей.

### Описание экспериментальной установки.

Экспериментальная установка, рис. 3 состоит из генератора переменного напряжения (синусоидального) 1 и трансформатора, содержащего первичную и вторичную обмотки 2. В качестве нагрузки вторичной обмотки применяется магазин сопротивлений 3. Для измерения напряжения на вторичной обмотке, и что тоже самое на нагрузке, предназначен вольтметр переменного тока 4.



Рис. 3.

### Задание 1.

Измерить эдс вторичной обмотки и определить коэффициент трансформации без подключенной нагрузки в диапазоне частот.

#### Последовательность выполнения задания.

1. Собрать электрическую схему, показанную на рис. 4.

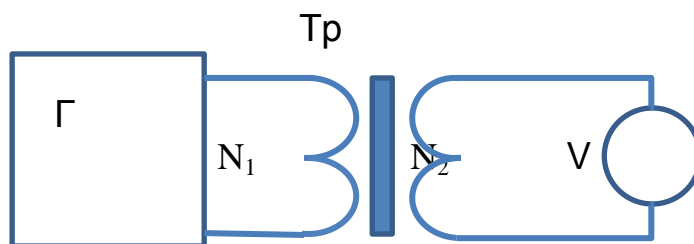


Рис. 4.

2. Установить на выходе генератора или что тоже самое на первичной обмотке трансформатора напряжение  $U_1 = 10 \text{ В}$ .
3. Изменяя частоту входного напряжения в соответствии с таблицей 1, при постоянном напряжении на первичной обмотке  $U_1 = 40 \text{ В}$  измерить и записать в таблицу 1 значения эдс во вторичной обмотке.

Таблица 1.

F, Гц	20	30	40	50	70	100	500	$10^3$	$10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10^5$
$U_1, \text{ В}$											
$\mathcal{E}_2, \text{ В}$											
n											

4. Рассчитать коэффициент трансформации для всего частотного диапазона пользуясь соотношением (3) и построить график  $n = f(F)$  в логарифмическом масштабе.

## Задание 2.

Исследовать зависимость коэффициента полезного действия  $\eta$  и коэффициента трансформации  $n$  в зависимости от нагрузки трансформатора.

1. Собрать электрическую схему, показанную на рис. 5.

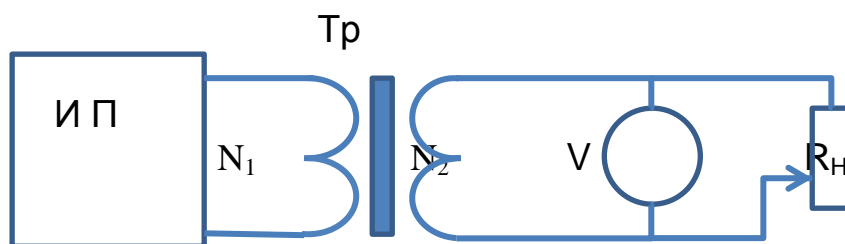


Рис. 5.

2. На источнике питания ИП установить напряжение, что тоже самое на первичной обмотке трансформатора  $U_1 = 50 \text{ В}$  и поддерживать его на этом уровне в процессе выполнения задания.
3. Измерить напряжения на вторичной обмотке трансформатора, т.е. напряжение на нагрузке, изменяя нагрузку в соответствии с таблицей 2. Сопротивление нагрузки, т.е. сопротивление реостата выставлять с помощью омметра. Измеренные значения напряжения  $U_2$  записать в таблицу 2.

Таблица 2.

<b>R<sub>н</sub>, Ом</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>800</b>
U <sub>1</sub> , В							
U <sub>2</sub> , В							
I <sub>2</sub> r <sub>2</sub> В							
η							
n							

4. Рассчитать значения КПД и коэффициента трансформации, пользуясь соотношениями (2) и (3), учитывая, что сопротивление вторичной обмотки  $r_2 = 2$  Ома. Расчетные значения занести в таблицу 2.
5. Построить графики зависимости КПД от сопротивления нагрузки  $\eta = f(R_n)$  и коэффициента трансформации от сопротивления нагрузки  $n = f(R_n)$  в логарифмическом масштабе.
6. Графики рекомендуется строить с использованием графической программы Logger Pro 3.
7. Объяснить полученные зависимости.

### Контрольные вопросы.

1. Каковы условия возникновения электромагнитной индукции ?
2. При каких условиях возникает взаимная индукция ?
3. Что такое индуктивность проводника и от чего она зависит ?
4. От чего зависит коэффициент трансформации трансформатора ?
5. Чему равен КПД трансформатора ?
6. Назовите области применения трансформаторов.

### Литература.

1. Калашников С.Г. Электричество, М. Физматлит, 2003.
2. Мякишев Г. Я. Электродинамика, М. Дрофа, 2006.
3. Джон Дж. О Нил, Гений, бьющий через край, М., Саттва, 2006.
4. Программа построения графиков Logger Pro 3.



