

Фролов Роман Николаевич

Курс электротехники

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 291
ББК 86.3
Р69

Р69 **Роман Николаевич Ф.**
Курс электротехники / Фролов Роман Николаевич – М.: Книга по Требованию,
2022. – 547 с.

ISBN 978-5-521-28742-0

ISBN 978-5-521-28742-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

нуетъ якорь, образуя магнитное разсѣяніе или утечку магнитнаго потока Φ_s .

Такимъ образомъ

$$\Phi_m = \Phi + \Phi_s.$$

Магнитное разсѣяніе происходитъ во всякой динамо-машинѣ, такъ какъ силовыя линіи замыкаются черезъ воздухъ,

Отношеніе

$$\frac{\Phi_m}{\Phi} = \lambda$$

называютъ коэффициентомъ магнитнаго разсѣянія.

Очевидно $\lambda > 1$ и величина его колеблется между 1,1 до 1,8 въ зависимости отъ типа динамо-машины.

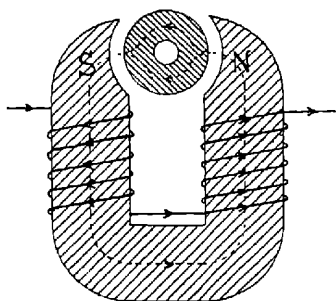
Въ динамо-машинѣ Эдиссона-Гопкинсона магнитное разсѣяніе очень велико и для его уменьшенія динамо ставили на прокладку Z (черт. 1) изъ немагнитнаго матеріала, чтобы ослабить утечку магнитнаго потока, помощью удаленія магнитной системы отъ чугунной рамы K ; однако все-таки коэффициентъ магнитнаго разсѣянія достигалъ 1,7—1,8 *).

Второй недостатокъ указаннаго типа состоялъ въ томъ, что въ междужелѣзномъ пространствѣ наблюдалось крайне неравномѣрное напряженіе поля; вблизи катушекъ напряженіе поля было больше, чѣмъ около нижнихъ концовъ полюсовъ.

2. На черт. 2 изображена также старая форма индуктора динамо „Сименса, типа П“.

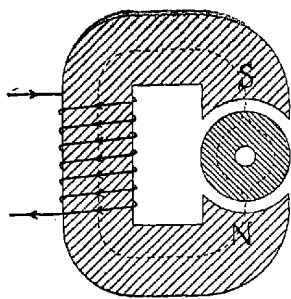
Этотъ типъ представляетъ собою перевернутую динамо Эдиссона-Гопкинсона, отчего магнитное разсѣяніе уменьшилось ($\lambda = 1,5 — 1,3$) но неравномѣрность напряженія поля въ междужелѣзномъ пространствѣ осталась прежней.

3. На черт. 3 изображена динамо Томсона, типъ долго примѣ-



Черт. 2.

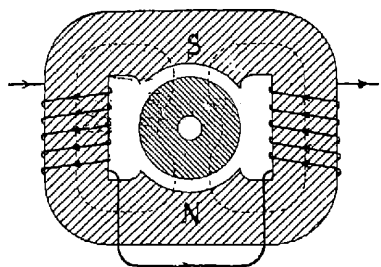
*) Первая цифра относится къ малымъ машинамъ, а вторая къ большимъ,



Черт. 3.

немый фирмой Соттера; намагничивающая катушка одна, но этот типъ также страдаетъ недостаткомъ неравномерности напряженія поля въ междужелѣзномъ пространствѣ.

4. Для полученія болѣе равномернаго поля въ междужелѣзномъ пространствѣ, стали устраивать индуктора съ нѣсколькими магнитными цѣпями. На черт. 4 изображена динамо-машина, типъ которой былъ выработанъ на Манчестерскихъ заводахъ и затѣмъ былъ принятъ другими заводами. Подобныя динамо-машины носятъ названіе „Манчестерскаго типа“.

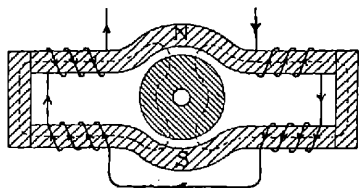


Черт. 4.

На черт. 4 пунктиромъ обозначены двѣ магнитныя цѣпи индуктора. Магнитный потокъ въ этой машинѣ, проходящій черезъ якорь, состоитъ изъ двухъ частей, при чемъ каждая часть создается своей катушкой.

Недостатокъ машинъ Манчестерскаго типа—неудобство, состоящее въ невозможности изготовлять отдѣльно намагничивающія катушки, а также и сравнительно порядочное магнитное разсѣяніе ($\lambda=1,5-1,3$).

5. Для полученія возможности снимать катушки нѣкоторые заводы изготовляли динамо-машины Манчестерскаго типа съ разборными индукторами, состоящими изъ отдѣльныхъ частей, свинчивающихся между собою, но мѣста соединенія ухудшали качество магнитной цѣпи, увеличивая ея сопротивленіе. Къ такимъ машинамъ можно причислить старую динамо Сименса (черт. 5), индукторъ которой состоялъ



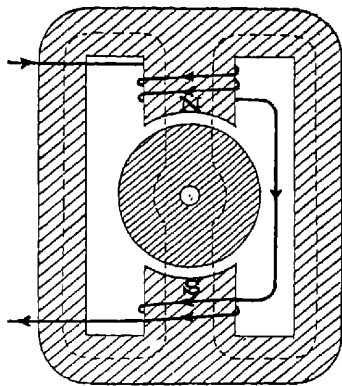
Черт. 5.

изъ желѣзныхъ частей, свинчивающихся между собою.

Такія машины устанавливались въ прежнее время на судахъ, ввиду незначительности занимаемаго ими мѣста, но теперь онѣ не находятъ примѣненія.

6. На черт. 6 изображена динамо-машина „типа Ламейеръ“, или, такъ называемаго „бронированнаго типа“, принятаго въ настоящее время почти всѣми заводами.

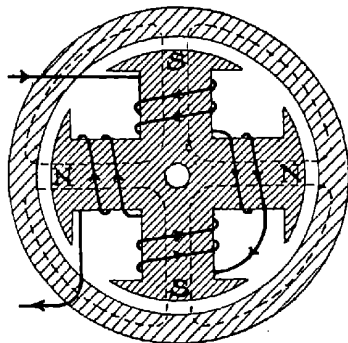
Особенностью этого типа является помѣщеніе намагничивающихъ катушекъ на самихъ полюсахъ, такъ что только незначительная часть полюсовъ выступаетъ изъ нихъ; благодаря этому обстоятельству магнитное разсѣяніе значительно уменьшается. Въ этихъ машинахъ вся машина окружена магнитнымъ матеріаломъ, какъ броней, вслѣдствіе чего магнитное разсѣяніе въ окружающемъ пространствѣ очень незначительно [$\lambda=1,2-1,1$].



Черт. 6.

7. Какъ увидимъ далѣе, динамо-машины большой мощности дѣлаютъ **многполюсными**, при чемъ число полюсовъ всегда **четное**, а сосѣдніе полюса всегда имѣютъ противоположныя наименованія, т. е. другими словами, нордовые и зюйдовые полюса чередуются другъ съ другомъ.

На черт. 7 изображена **четырехполюсная** машина системы „Рингъ-Сименса“; эта машина еще называется **внутренне-полюсной**, такъ какъ у нея неподвижные полюса расположены внутри вращающагося якоря, имѣющаго форму кольца. Трудность крѣпленія и центрованія якоря вывели эту машину изъ употребленія; на многихъ же старыхъ судахъ эту машину еще можно встрѣтить.

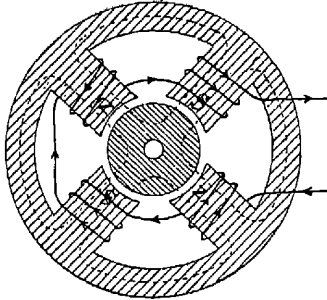


Черт. 7.

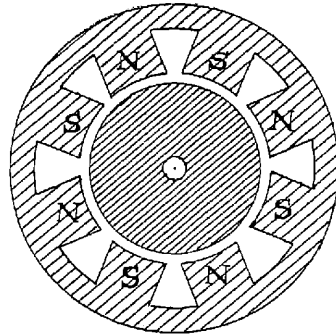
8. Многполюсные машины

встрѣчаются „Манчестерскаго типа“, но въ настоящее время особенное распространѣніе получили многополюсныя машины „типа Ламейеръ“ (заводъ Lameyer и С^о въ Франкфуртѣ на Майнѣ).

На черт. 8 изображена четырехполюсная, а на черт. 9



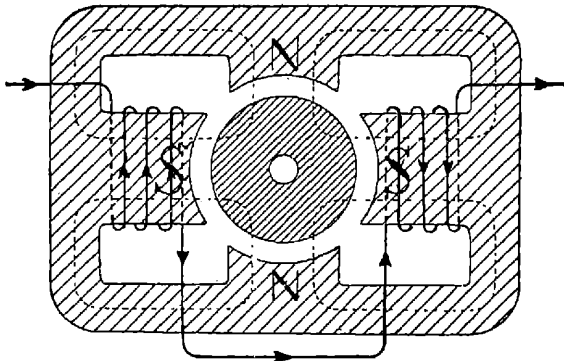
Черт. 8.



Черт. 9.

восьмиполюсная машина общепринятаго въ настоящее время типа „Lameyer“.

9. Слѣдуетъ обратить вниманіе, что не всегда по числу катушекъ можно судить о числѣ полюсовъ динамо-машины;



Черт. 10.

такъ, напримѣръ, на черт. 10 изображена четырехполюсная машина, имѣющая только двѣ катушки на зюйдовых полюсахъ; пунктиромъ обозначенъ путь четырехъ магнитныхъ цѣпей

этой машины ($\lambda=1,5-1,3$).

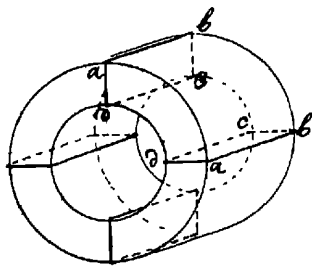
Остовъ индуктора слѣдуетъ дѣлать изъ матеріала съ большой магнитной проницаемостью. Желѣзо обладаетъ очень значительной магнитной проницаемостью, но не годится для индукторовъ, такъ какъ, во первыхъ, желѣзо

обладаетъ очень малымъ остаточнымъ магнетизмомъ *), а во вторыхъ, желѣзо неудобно для отливокъ; вотъ по этимъ причинамъ индуктора всѣхъ старыхъ машинъ изготовлялись изъ чугуна, который прекрасно отливается въ формы, но обладаетъ сравнительно плохими магнитными свойствами. Въ настоящее время индуктора исключительно изготовляютъ изъ мягкой литой стали, которая прекрасно отливается въ формы, обладаетъ значительнымъ остаточнымъ магнетизмомъ и по магнитнымъ свойствамъ не уступаетъ желѣзу, даже лучше его. Въ индукторахъ изъ литой стали получилась возможность допустить большую индукцію **), чѣмъ въ чугунныхъ индукторахъ, благодаря чему первые выходятъ съ меньшимъ сѣченіемъ, а слѣдовательно и болѣе легкими.

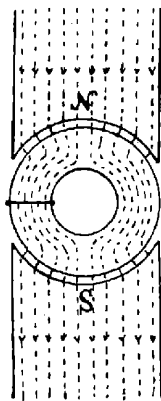
Якорь динамо-машины представляетъ собою желѣзную (мягкаго желѣза) основу, на которую тѣмъ или инымъ путемъ наложены проводники, пересекающіе силовыя линіи магнитнаго поля. Желѣзная основа называется сердечникомъ якоря, а совокупность всѣхъ проводниковъ, наложенныхъ на сердечникъ, называется обмоткой якоря.

Якоря бываютъ двухъ родовъ: кольцевые и барабанные.

Желѣзный сердечникъ кольцевого якоря (черт. 11) только въ разрѣзѣ имѣетъ видъ кольца и такъ какъ этотъ якорь имѣетъ значительное измѣненіе по своей оси, то онъ скорѣе имѣетъ видъ полого цилиндра, чѣмъ кольца. При помѣщеніи кольцевого якоря въ маг-



Черт. 11.



Черт. 12.

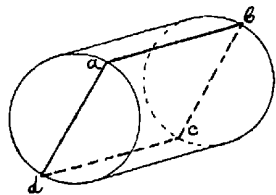
*) На остаточномъ магнетизмѣ индуктора, какъ увидимъ далѣе, основанъ принципъ самовозбужденія динамо-машинъ.

**) Индукція $B = \frac{\Phi}{S}$, т. е. плотность магнитнаго потока или число силовыхъ линій, проходящихъ черезъ каждый кв. см. поперечнаго сѣченія индуктора.

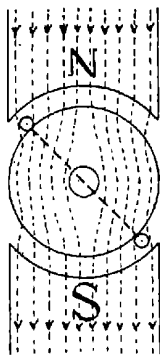
нитномъ полѣ индуктора (черт. 12), магнитный потокъ, выходящій изъ нордоваго полюса, при входѣ въ якорь раздвѣивается и обѣ части потока вновь сливаются при входѣ въ зюйдовый полюсъ. Обмотка кольцевого якоря состоитъ изъ соединенныхъ между собою катушекъ *авсд* (на черт. 11 показанъ одинъ витокъ катушки). Разматривая катушку *авсд*, какъ состоящую изъ четырехъ отдѣльныхъ частей *ав*, *вс*, *сд* и *ад*, не трудно видѣть, что при вращеніи якоря силовыя линіи будутъ пересѣкать (перерѣзать) только одинъ проводникъ *ав*, расположенный на **наружной** *) поверхности кольца, т. е. $\frac{1}{4}$ часть всей катушки; остальные же три части *вс*, *сд* и *ад* не будутъ принимать участія въ индукціи и служатъ лишь для соединенія между собою **активныхъ** частей катушекъ. Изъ черт. 12 видно также, что наибольшій магнитный потокъ, пронизывающій катушку кольцевого якоря, равенъ половинѣ потока, выходящаго изъ нордоваго полюса.

Кольцевой якорь былъ изобрѣтенъ Пачинотти и, независимо отъ него, въ 1869 г. Граммомъ, который ввелъ его въ употребленіе на практикѣ, почему кольцевой якорь получилъ названіе **Граммовскаго якоря**.

Барабанный якорь былъ предложенъ Гофнеръ-Альтенекъ въ 1892 году и представляетъ собою видоизмѣненіе кольцевого якоря. Желѣзный сердечникъ барабаннаго



Черт. 13.



Черт. 14.

якоря имѣетъ видъ сплошнаго цилиндра (черт. 13), а въ послѣднее время для лучшаго охлажденія сердечникъ барабаннаго якоря, подобно кольцевому, также дѣлаютъ въ видѣ полого цилиндра. Раз-

*) Исключеніе представляетъ якорь, внутреннеполюсной динамомашины (динамо-Рингъ) (черт. 7), въ которомъ пересѣкаютъ силовыя линіи проводники, расположенные на внутренней поверхности кольца.

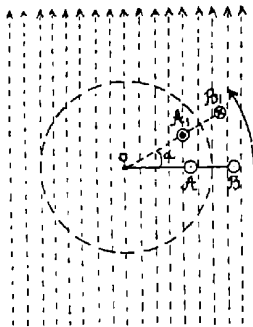
ница же между обоими якорями состоитъ, главнымъ образомъ, въ способѣ наложенія обмотки. Катушка $a b c d$ барабаннаго якоря имѣетъ двѣ части (два проводника) ab и cd , расположенныя на наружной поверхности якоря, а потому оба эти проводника при вращеніи якоря будутъ пересѣкать силовыя лініи поля, создаваемого индукторомъ. Части же ad и bc , расположенныя на торцевыхъ частяхъ барабана якоря (черт. 13), будутъ служить лишь для соединенія между собою **активныхъ** частей обмотки.

Изъ чертежа 14 видно, что въ барабанномъ якорѣ наибольшее число силовыхъ ліній, пронизывающихъ каждую его катушку, равно полному потоку, выходящему изъ nordоваго полюса.

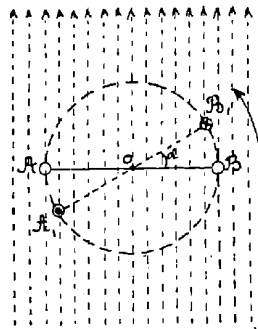
О достоинствахъ и недостаткахъ обоихъ якорей будетъ указано ниже.

§ 2. Индукція въ кольцѣ.

Разберемъ два случая индукціи въ замкнутомъ контурѣ при его вращеніи въ однородномъ магнитномъ полѣ. Въ первомъ случаѣ (черт. 15) замкнутый контуръ AB вра-



Черт. 15.



Черт. 16.

щается вокругъ точки O , какъ центра, лежащаго въ плоскости кольца, при чемъ вращеніе совершается въ одной плоскости. Во второмъ случаѣ (черт. 16) кольцо AB вращается около одного своего діаметра O , перпендикулярнаго силовымъ лініямъ поля. Оба указанныхъ случая будемъ разсматривать одновременно. За первоначальное положеніе

кольца примемъ положеніе его AB (черт. 15 и 16), когда оно находится въ плоскости, перпендикулярной силовымъ линіямъ, и зададимся направлениемъ вращенія (указано стрѣлкой), полагая, что вращеніе будетъ совершаться равномѣрно съ нѣкоторою угловою скоростью ω .

Въ положеніи AB черезъ кольцо проходитъ наибольшее число силовыхъ линій, или, какъ говорятъ, кольцо охватываетъ наибольшій потокъ:

$$\Phi_0 = H \cdot s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ s —площадь кольца, а H —напряжение поля.

Пусть черезъ промежутокъ времени t кольцо повернется на уголъ α и будетъ находиться въ положеніи A_1B_1 ; тогда охватываемый имъ магнитный потокъ будетъ меньше и равенъ:

$$\Phi = H \cdot s \cdot \cos \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

гдѣ $s \cdot \cos \alpha$ —будетъ проекція кольца на плоскость, перпендикулярную силовымъ линіямъ.

Принявъ во вниманіе равенство (1), напишемъ:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \cos \alpha.$$

Такъ какъ число силовыхъ линій, пронизывающихъ контуръ кольца при перемѣщеніи его изъ положенія AB въ положеніе A_1B_1 измѣнилось, то въ кольцѣ будетъ индуцироваться электродвижущая сила и по кольцу пойдетъ индуцированный токъ. Направленіе индуцированной электродвижущей силы и тока можетъ быть опредѣлено по извѣстному правилу Максвелля, а величина электродвижущей силы индукціи равна:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \Phi_0 \cdot \frac{d\cos \alpha}{dt} = \Phi_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

$\frac{d\alpha}{dt} = \omega$, а при равномѣрномъ вращеніи:

$$\alpha = \omega t.$$

Откуда:

$$e = \Phi_0 \cdot \omega \cdot \sin \omega t.$$

Если обозначить через N — число оборотов, дѣлаемыхъ кольцомъ втеченіе 1 секунды, то

$$\omega = 2\pi N$$

и

$$e = \Phi_0 \cdot \omega \cdot \sin 2\pi Nt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Не трудно видѣть, что e приобретаетъ максимальное значеніе, когда $\sin 2\pi Nt = 1$ и тогда

$$e_{max} = \Phi_0 \cdot \omega$$

Обозначимъ e_{max} черезъ E :

$$E = \Phi_0 \cdot \omega$$

и тогда уравненіе (3) приметъ видъ:

$$e = E \cdot \sin 2\pi Nt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Это уравненіе показываетъ, что индуктирующая въ кольцѣ электродвижущая сила измѣняется по синусоидальному закону.

Изслѣдуемъ уравненіе (4):

$$e = 0 \text{ когда } \sin 2\pi Nt = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} 2\pi Nt = 0 \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t = 0 \\ 2\pi Nt = \pi \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t = \frac{1}{2N} \end{array} \right.$$

$$e = E \cdot \sin 2\pi Nt = 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} 2\pi Nt = \frac{\pi}{2} \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t = \frac{1}{4N} \\ 2\pi Nt = \frac{3\pi}{2} \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t = \frac{3}{4N} \end{array} \right.$$

$$e > 0 \quad . \quad . \quad . \quad \sin 2\pi Nt > 0 \quad . \quad . \quad . \quad 2\pi Nt < \pi \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t < \frac{1}{2N}$$

$$e < 0 \quad . \quad . \quad . \quad \sin 2\pi Nt < 0 \quad . \quad . \quad . \quad 2\pi Nt > \pi \quad . \quad . \quad . \quad \text{при } t > \frac{1}{2N}$$

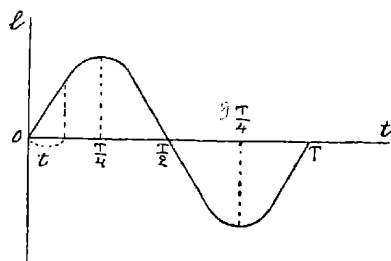
Если N —число оборотовъ кольца въ 1 секунду,

то $\frac{1}{N} = T$ —время одного оборота,

$$\frac{1}{2N} = \frac{T}{2} \text{—время одного полуоборота}$$

и т. д.

Электродвижущую силу, индуцирующуюся въ кольцѣ, можно представить графически такъ, какъ показано на черт. 17.



Черт. 17.

Сила тока въ кольцѣ при вращеніи его въ магнитномъ полѣ будетъ измѣняться по тому же закону, что и электродвижущая сила:

$$i = \frac{e}{r} = \frac{E}{r} \cdot \sin 2\pi Nt$$

гдѣ r — сопротивленіе цѣпи кольца.

Обозначивъ максимальное значеніе силы тока черезъ:

$$\frac{E}{r} = I,$$

получимъ:

$$i = I \cdot \sin 2\pi Nt.$$

Графически измѣненіе силы тока изображается такою же синусоидой, какъ и электродвижущая сила.

§ 3. Полученіе переменнаго тока.

Какъ мы видѣли въ § 2, при вращеніи замкнутого контура въ магнитномъ полѣ, въ немъ индуцируется электродвижущая сила **переменнаго** направленія (синусоидальнаго характера), а слѣдовательно и токъ во внѣшней цѣпи будетъ также переменнымъ.

Дѣйствительно, если мы возьмемъ якорь въ видѣ кольца (черт. 18), на которомъ наложимъ катушку изъ нѣсколькихъ шлаговъ проволоки, то при вращеніи якоря въ направленіи, указанномъ стрѣлкой, въ каждомъ виткѣ (шлагѣ) будетъ индуцироваться электродвижущая сила, направленіе которой опредѣляется правиломъ Максвелля или правиломъ Флеминга правой руки. Для полученія тока во внѣшней цѣпи концы проволоки катушки присоединимъ къ двумъ, изолированнымъ другъ отъ друга, кольцамъ, къ