

ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ.

Составилъ войсковой техникъ-электрикъ
и военный радіотехникъ

А.Э.Миллеръ .

Часть вторая .

РИГА, 1921.

Издание акц. общ. Вальтеръ и Рапа.

Театральная ул. № 11.

ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ.

Составилъ войсковой техникъ-электрикъ
и военный радіотехникъ

А.Θ.Миллеръ .

Часть вторая .



РИГА, 1921.

Издание акц. общ. Вальтеръ и Рапа.

Театральная ул. № 11.

Типографія акц. о-ва Вальтерсъ и Рапа, Рига.



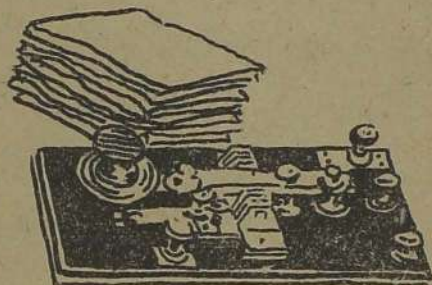
Проф. Ф. Браунъ



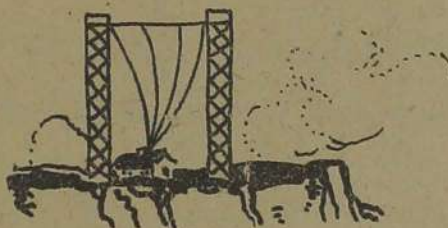
Г. Маркони.



Г. Герцъ.



Проф. А. Слаби.



Графъ ф. Арко.

Предисловіе.

Вслѣдствіе незнанія многими иностранныхъ языковъ и отсутствія руководствъ и пособій по радіотехникѣ я задаяся цѣлью составить руководство изъ имѣющейя у меня новѣйшей заграничной литературы, которое дало бы краткое и ясное объясненіе теоріи радіотелеграфіи необходимое для средняго радіоспеціалиста. Предполагаю издать основы радіотехники въ 3хъ частяхъ. Въ первой части будетъ дано объясненіе элементарныхъ основъ радіотелеграфіи, необходимыя свѣдѣнія изъ физики, электротехники и первоначальное понятіе о радіотелеграфіи, а въ третьей части — расчетъ радіостанціи и отдѣльныхъ ея аппаратовъ съ примѣрами и необходимыми формулами, которыя долженъ знать каждый радіотехникъ.

При составленіи этой книги я руководствовался главнымъ образомъ учебниками, принятыми въ радіошколахъ Англіи и Америки :

„R. D. Bangay : The Elementary Principles of Wireless Telegraphy“, „Elmer E. Bucher : Practical Wireless Telegraphy.“

Глубоко признателенъ военнымъ радіотехникамъ С. В. Соколову и А. Н. Высотскому, радіоинженеру Куликову за оказанную мнѣ помощь въ переводѣ отдѣльныхъ статей, а также инже-

нерамъ военнымъ электрикамъ С.О. Ковернинскому
и покойному Каклюгину въ приобрьтеніи загра-
ничной литературы и за совѣты.

Благодарю за содѣйствіе по осуществленію
изданія даннаго руководства книгоиздательству
Вальтеръ и Рапа.

Рига, 1921 г.

А.В. Миллеръ.

Источники коими пользовался составитель:

- 1). „Rein-Wirtz, Radiotelegraphisches Praktikum“
1921 г. 180 марокъ.
- 2). „Nesper, Handbuch der drahtlosen Telegraphie
und Telephonie“
1921 г. 300 марокъ.
- 3). „Eccles, Handbook of formulae, data and In-
formation.“
- 4). „Dr. Wigge, Die neuere Entwicklung der Fun-
kentelegraphie in Siegeszug der Vakuumröh-
re.“ 1921 г.
- 5). „Hans Günther, Wellentelegraphie. Ein ra-
diotechnisches Praktikum.“ 1921 г.

Основы радиотелеграфии

Глава первая.

Графическое изображеніе переменныхъ величинъ.

При изученіи радиотелеграфии необходимо пользоваться изображеніями кривыхъ для объясненія переменныхъ величинъ.

Объясненіе (переменныхъ) явленій, которыя намъ представляется описывать въ этой части книги, значительно однако упрощается, благодаря широкому примѣненію такихъ изображеній кривыхъ.

Мы предполагали, однако, что для руководства учащимся, незнакомымъ съ пользованіемъ кривыхъ, нѣтъ необходимости давать особья доказательства краткихъ объясненій значеній этихъ кривыхъ.

1. Первый принципъ лежащій въ основаніи графическихъ изображеній есть представленіе величинъ съ помощью отрѣзковъ прямой линіи, вычерченныхъ въ определенномъ масштабѣ. Такимъ образомъ, если мы заранее устанавливаемъ, что данный отрѣзокъ долженъ представлять единицу, которою измѣряется изучаемая нами величина, то мы можемъ изобразить любое определенное значеніе этой величины отрѣзкомъ соответствующимъ значенію ея въ принятомъ нами масштабѣ.

2. Напримеръ, предположимъ, что въ нашемъ масштабѣ одинъ дюймъ соответствуетъ одному фунту, тогда очевидно четыре фунта мы можемъ изобразить отръзкомъ въ четыре дюйма или же семь фунтовъ - отръзкомъ въ семь дюймовъ.

Точно также, если въ нашемъ масштабѣ одинъ дюймъ равняется одной минутѣ, то пять минутъ мы можемъ изобразить пятью дюймами, а 30 секундъ отръзкомъ въ $\frac{1}{2}$ дюйма.

3. Графическія изображенія вычерчиваются на основаніи принципа зависимости между двумя переменными величинами, когда значенія одной зависятъ отъ значеній другой.

4. Для удобства кривыя наносятся на разграфленную бумагу, раздѣленную на квадраты равныхъ размѣровъ приблизительно отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{20}$ дюйма каждый.

Таблица, дающая значенія одной величины и показывающая соответствующія имъ значенія другой величины, применимы для некоторыхъ целей, но безъ длинныхъ вычисленій невозможно уловить на такомъ чертежѣ общей зависимости связывающей эти двѣ величины.

5. Возьмемъ такой примѣръ: предположимъ, что пустое ведро помѣщено подъ кранъ, изъ котораго течетъ вода. Вѣсъ ведра будетъ возрастать (до тѣхъ поръ пока оно не наполнится), пока въ него льется вода, и въ этомъ случаѣ мы имѣемъ двѣ переменныхъ величины, а именно: **Вѣсъ ведра съ водой** и **Время** въ теченіи котораго вода наполняетъ ведро.

6. Если мы возьмемъ вѣсъ ведра съ водой въ различные моменты, то мы можемъ расположить полученные нами результаты въ двухъ столбцахъ, въ одномъ — время, въ продолженіи котораго вода льется въ ведро, а въ другомъ вѣсъ ведра съ водой въ соответствующіе моменты. Предположимъ, что въ теченіи пяти минутъ мы получили слѣдующіе результаты:

Таблица А.

Время.	Вѣсъ ведра.
Мин.	Фунты
0.	1.
$\frac{1}{2}$.	2.
$1\frac{3}{4}$.	$4\frac{1}{2}$.
3.	7.
$3\frac{1}{2}$	8
5.	11.

7. Первая строка таблицы соответствуетъ тому моменту, когда вода еще не лилась въ ведро и потому во второмъ столбцѣ только вѣсъ самаго ведра. Теперь при изученіи этой таблицы трудно судить безъ вычисленій равномерно наполняя вода ведро или нѣтъ? Сверхъ того, таблица даетъ намъ вѣсъ ведра только въ опредѣленные

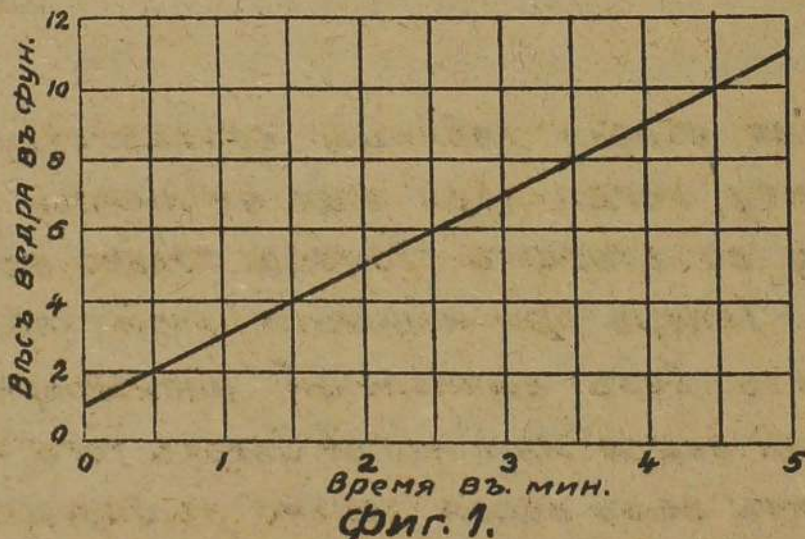
моменты, если же мы захотимъ узнать вѣсъ ведра въ какой нибудь промежуточный моментъ, мы должны будемъ вычислять его. Однако, если мы вычертимъ кривую иллюстрирующую полученные результаты, мы сможемъ найти нужную намъ величину при одномъ взглядѣ на чертежъ.

Глава вторая.

Прямая линія .

8. На рис. 1 результаты данные въ таблицѣ нанесены на разграфленную бумагу, отръзки откладываемые вдоль горизонтальной оси, или, какъ ихъ принято называть „Абсциссы“, изображаютъ время, въ продолженіи котораго вода течетъ въ ведро, а отръзки вдоль вертикальной оси или „Ординаты“ изображаютъ вѣсъ ведра. Если мы черезъ всѣ полученныя точки проведемъ линію, то мы замѣтимъ, что получается ПРЯМАЯ линія.

9. По „кривой“ мы можемъ судить съ перваго взгляда о вѣсѣ ведра за любой промежутокъ



времени, въ теченіе котораго ведро находится подъ краномъ, измѣряя высоту ординаты въ соотвѣтствующій моментъ, а также и моментъ, въ который вѣсъ ведра поднимется до данной величины, измѣряя длину абсциссы соотвѣтствующей этому вѣсу; такимъ образомъ на кривой мы можемъ видѣть, что по истеченіи $2\frac{1}{2}$ минутъ вѣсъ ведра достигнетъ 6 фунтовъ.

10. Если значенія одной величины прямо пропорціональны значеніямъ другой величины, и при измѣненіи одной величины другая измѣняется равномерно, то кривая, изображающая ихъ соотношеніе, принимаетъ форму прямой линіи.

Такимъ образомъ, при взглядѣ на кривую иллюстрирующую результаты вродѣ указанныхъ, мы можемъ сказать, что вѣсъ ведра съ водой прямо пропорціоналенъ времени, въ теченіи котораго вода льется въ ведро; или другими словами, его тяжесть возрастаетъ равномерно по времени.

11. Необходимо ясно понять, что, хотя отдѣльныя точки кривой изображаютъ вѣсъ ведра въ данный моментъ, вся „КРИВАЯ“ изображаетъ соотношеніе между тяжестью и временемъ, т. е. кривая изображаетъ измѣненіе вѣса ведра.

Въ данномъ случаѣ кривая направлена вверхъ; это означаетъ возрастаніе вѣса; но если кривая, вмѣсто того, чтобы начинаться отъ минимальныхъ значеній и направляться вверхъ, начинается съ максимальныхъ значеній и направляется внизъ, то ясно, что это означаетъ умень-

шеніе вѣса ведра съ возрастаніемъ времени, что будетъ соответствовать случаю, когда вода вытекаетъ изъ ведра, а не втекаетъ въ него.

12. Мы можемъ поэтому сказать, что **направленіе кривой указываетъ: возрастаетъ или убываетъ величина изображаемая ординатой.**

Глава третья.

Уголь наклона прямой.

13. Если мы на одномъ чертежѣ построимъ нѣсколько графиковъ изображающихъ соотношеніе между двумя переменными, при томъ условіи, что законъ измѣненія различенъ въ каждомъ случаѣ, то мы получимъ прямыя не одинаковаго наклона.

Напримѣръ, предположимъ, что опытъ описанный въ параграфѣ 5 повторенъ въ одномъ случаѣ, когда кранъ открытъ больше, въ другомъ - меньше.

14. Въ первомъ случаѣ вѣсъ ведра увеличился на 10 фунтовъ, т.е. съ 1 до 11 фунтовъ въ пять минутъ. А такъ какъ одинъ галлонъ воды вѣситъ 10 англійскихъ ф., то очевидно, что въ этомъ опытѣ вода наполняла ведро со скоростью 12 галлоновъ въ часъ. Если, теперь, мы завернемъ немного кранъ такъ, чтобы вода наполняла ведро со скоростью 6 галлоновъ въ часъ, и имѣя въ началѣ опыта пустое ведро, будемъ дѣлать измѣреніе черезъ извѣстные промежутки вре-

мени, мы получимъ вѣсь воды въ различные моменты, какъ показано на таблиць В.

Таблица В.

Время.	Вѣсь ведра.
Минуты.	Англ. фунты.
0.	1.
1.	2.
2.	3.
3.	4.
4.	5.
5.	6.

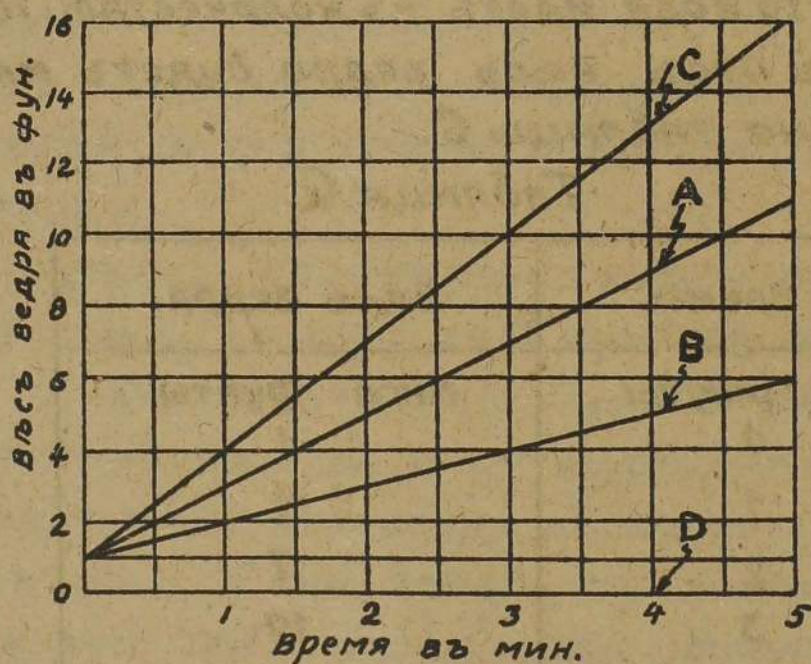
15. Точно также, если кранъ будетъ открытъ настолько, что вода идетъ въ количествѣ 18 галлоновъ въ часъ, вѣсь ведра будетъ мѣняться согласно таблиць С.

Таблица С.

Время.	Вѣсь ведра.
Минуты	Англ. фунты
0	1
1	4
2	7
3	10
4	13
5	16

16. На основаніи этихъ данныхъ построимъ (рис. 2) три отдѣльныя прямыя А, В, С; мы видимъ, что всѣ онѣ имѣютъ различные углы наклона къ оси абсциссъ; наибольшимъ угломъ наклона обладаетъ "С", это показываетъ, что въ послѣднемъ случаѣ вѣсъ ведра измѣняется быстрее чѣмъ въ предыдущихъ; наименьшій уголъ у В, гдѣ вѣсъ ведра медленнѣе всего мѣняется со временемъ.

17. Если бы кранъ былъ совсѣмъ закрытъ, то очевидно, что вѣсъ ведра не мѣнялся бы и оно имѣло бы одинъ и тотъ же вѣсъ въ теченіе пяти минутъ. Въ этомъ случаѣ графикъ, изображающій зависимость между вѣсомъ ведра и временемъ, можетъ быть изображенъ прямой "D" на рис. 2, эта прямая параллельна оси времени.

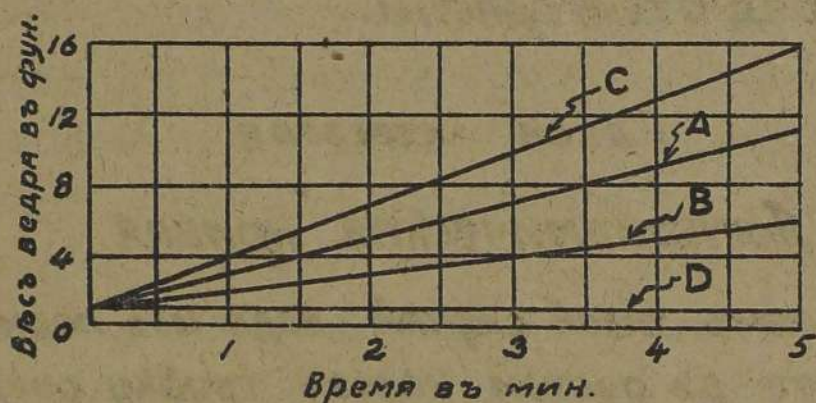


Фиг. 2.

18. Мы можемъ теперь сказать, что (1) если прямая параллельна одной изъ осей, это указываетъ

еть на то, что съ измѣненіемъ одной переменной, другая не мѣняется, и (2) уголъ наклона прямой характеризуетъ величину приращенія одной переменной по отношенію къ другой.

19. Изъ того, что уголъ наклона прямой даетъ намъ представленіе о зависимости между приращеніями переменныхъ, очевидно, что когда прямыя, изображающія различныя функціи двухъ переменныхъ, начерчены (напр. на рис. 2), то различіе между функціями легко можно обнаружить по угламъ наклона прямыхъ.



фиг. 3.

20. Читатель, однако, долженъ быть остороженъ при сравненіи угловъ наклона кривыхъ, вычерченныхъ въ различныхъ масштабахъ, т.к. уголъ наклона прямой зависитъ отъ масштаба.

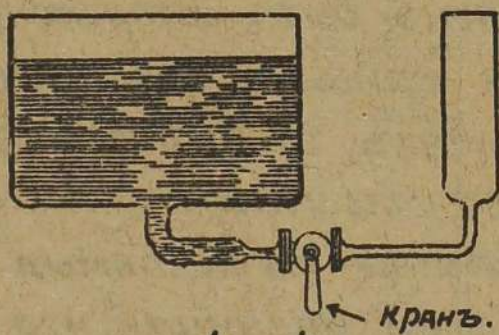
Такъ на рисункѣ 3 показаны тѣ же самыя кривыя, что и на рис. 2, съ той разницей, что на рис. 3 вѣсъ откладывается въ иномъ масштабѣ. Въ приведенныхъ нами случаяхъ измѣненія одной переменной пропорціональны измѣненіямъ другой переменной; при этомъ кривыя, какъ мы показали суть прямыя линіи.

21. Очевидно, что, когда приращенія одной переменной не прямо пропорціональны приращеніямъ другой, т.е. когда одна переменная измѣняется не равномерно; кривая изображающая функцію будетъ линіей переменной крутизны, потому что крутизна, какъ мы показали, изображаетъ скорость измѣненія. Форма этой линіи будетъ зависѣть отъ закона измѣненій переменныхъ. Для нашей цѣли достаточно дать два или три типичныхъ примѣра, которые пригодятся намъ впоследствии при прохожденіи теории радіотелеграфіи.

Глава четвертая.

Логарифмическая кривая.

22. Возьмемъ такой случай: вода изъ полного сосуда течетъ въ пустой черезъ трубку соединяющую оба сосуда, какъ показано на рис. 4.



фиг. 4.

Пренебрегая инерціей воды, мы можемъ сказать, что скорость съ которой вода течетъ изъ одного сосуда въ другой зависитъ отъ двухъ величинъ: (1) отъ давленія, которое измѣряется разностью

уровней воды въ сосудахъ и (2) отъ тренія о стѣнкахъ трубки соединяющей сосуда. Изъ этихъ величинъ, для цѣлей нашего изложенія послѣдняя можетъ быть принята за постоянную

и следовательно въ этомъ случаѣ мы можемъ сказать, что потокъ воды зависитъ отъ разности ея уровней въ сосудахъ. Если сосудъ съ водой имѣетъ очень большой объемъ сравнительно съ пустымъ, то мы можемъ принять для простоты, что уровень воды въ большомъ сосудѣ остается не измѣннымъ при наполненіи малаго сосуда. Дальше, если РАЗНОСТЬ уровней оставалась неизмѣнной, вода текла бы съ постоянной скоростью, и зависимость силы водяного потока отъ времени выразилась бы прямой линіей, параллельной оси времени. Но прибавленіе воды въ маломъ сосудѣ вызываетъ повышение уровня воды въ немъ и въ результатъ давленіе воды уменьшается съ наполненіемъ сосуда.

23. Теперь предположимъ, что ПОТОКЪ ВОДЫ пропорціоналенъ давленію; и если давленіе убываетъ равномерно, потокъ воды также будетъ равномерно убывать и кривая изображающая зависимость потока воды отъ времени будетъ имѣть форму прямой линіи, начинающейся со своего максимума и спускающейся до нуля.

Однако при болѣе внимательномъ отношеніи мы замѣчаемъ, что давленіе убываетъ неравномерно, это зависитъ отъ потока воды переходящей въ малый сосудъ; поэтому быстрота съ которой уменьшается давленіе, зависитъ отъ быстроты съ которой переходитъ вода, т.е. зависитъ отъ потока воды.

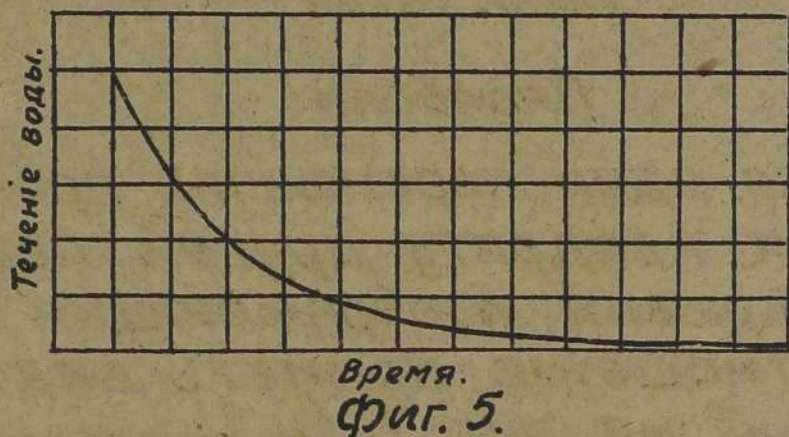
24. Отсюда слѣдуетъ, что уменьшеніе давленія вызываетъ уменьшеніе силы потока воды, а это въ свою очередь уменьшаетъ скорость паденія давленія, а слѣдовательно скорость уменьшенія силы потока воды.

Въ результатъ сила потока воды будетъ наибольшая, когда мы повернемъ кранъ раздѣляющій сосуды и будетъ уменьшаться сначала быстро, а затѣмъ все медленнѣе и медленнѣе по мѣрѣ того какъ уровень воды въ маленькомъ сосудѣ приближается къ уровню воды въ большомъ сосудѣ; сила теченія воды постепенно уменьшается, скорость ея также будетъ уменьшаться все медленнѣе и медленнѣе и черезъ безконечно большой промежутокъ времени теченіе воды совсѣмъ остановится.

25. Мы показали, что кривая наклоненная внизъ характеризуетъ собою уменьшеніе одного переменнаго въ зависимости отъ другого, и кромѣ того, что уголъ наклона характеризуетъ быстроту уменьшенія. Поэтому очевидно, что кривая, изображающая теченіе воды при этихъ условіяхъ, будетъ постепенно понижаться начиная съ максимума крутизны и въ предѣлѣ стремиться къ нулю, котораго фактически однако никогда она не достигаетъ. Эта кривая изображена на рис. 5. Здѣсь ординаты изображаютъ теченіе воды, а абсциссы — время

Это явленіе извѣстно подъ названіемъ „логарифмической“ кривой и часто встрѣчается при

изученіи радіотелеграфа и другихъ электрическихъ явленій. Напримѣръ, если электродвижущая сила будетъ заряжать конденсаторъ, то токъ идущій въ конденсаторъ черезъ сопротивление, въ теченіи нѣкотораго промежутка времени выразится вышеуказанной кривой.



Фиг. 5.

26. Логарифмическая кривая также можетъ принять форму кривой, показанной на рис. 6. Здѣсь одинъ изъ факторовъ отъ минимальнаго значенія сначала быстро возрастаетъ, а затѣмъ все болѣе и болѣе медленно приближается къ своему максимальному значенію, никогда однако не достигая его. Примѣромъ этого мо-



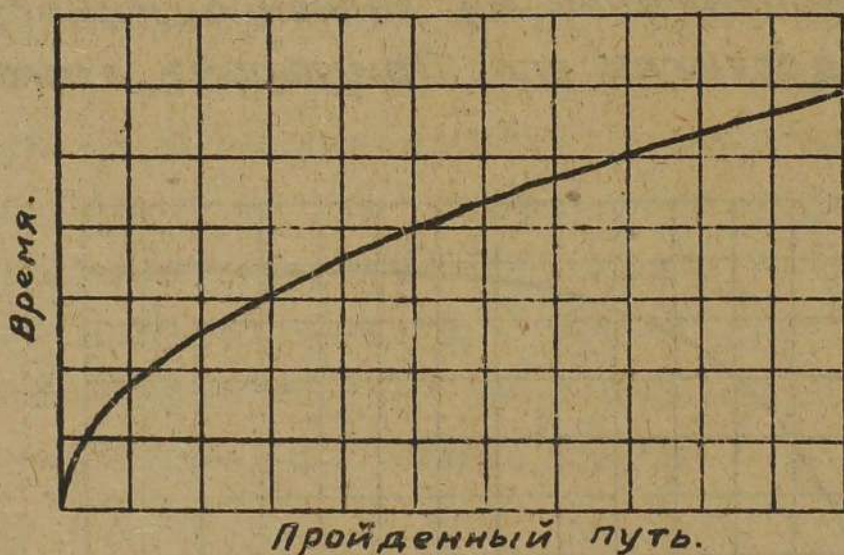
Фиг. 6.

жетъ служить кривая, изображающая прохожденіе тока черезъ индукціонную катушку, обладающую известнымъ сопротивленіемъ, когда электродвижущая сила приложена къ ней; другимъ примѣромъ можетъ служить скорость свободно падающаго въ воздушномъ пространствѣ тѣла.

Глава пятая.

Парабола.

27. Когда одна переменная пропорциональна квадрату другой переменной, то кривая, изображающая ихъ взаимоотношеніе, приметъ видъ изображенный на рис. 7. Эта кривая известна подъ названіемъ ПАРАБОЛЫ. На первый взглядъ она можетъ показаться очень похожей на кривую, изображенную на рис. 6, тѣмъ не меньше между ними есть коренное различіе: въ логар-



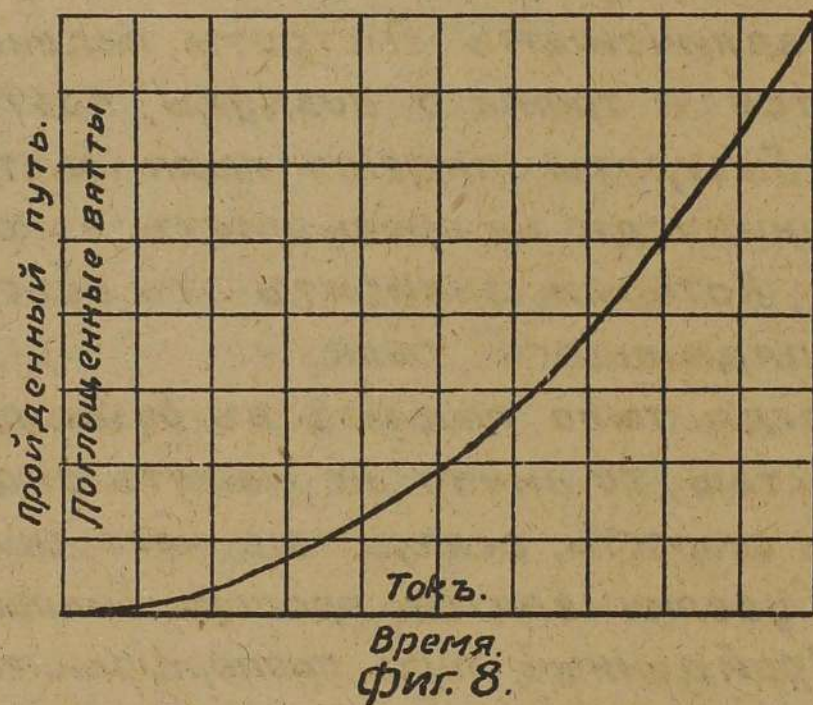
фиг. 7.

риемической кривой одинъ изъ факторовъ постоянно достигаетъ извѣстнаго максимальнаго предѣла, тогда какъ въ параболѣ оба фактора продолжаютъ безгранично возрастать. Примѣромъ этого служитъ кривая, изображающая увеличеніе пути, пройденнаго падающимъ въ безвоздушномъ пространствѣ тѣломъ въ нѣкоторый промежутокъ времени. Когда тѣло падаетъ въ воздушномъ пространствѣ, то вмѣстѣ съ увеличеніемъ быстроты паденія, увеличивается и треніе о воздухъ, поэтому величина быстроты паденія тѣла быстро убываетъ и никогда не превышаетъ нѣкотораго предѣла, который зависитъ отъ объема и формы падающаго тѣла.

28. Когда тѣло падаетъ въ безвоздушномъ пространствѣ, то ничто не можетъ задерживать его скорость, вслѣдствіе чего скорость паденія увеличивается пропорціонально времени. Пройденный путь пропорціоналенъ скорости помноженной на время паденія. А такъ какъ скорость паденія пропорціональна времени, то отсюда слѣдуетъ, что въ данномъ случаѣ, пройденный путь пропорціоналенъ **КВАДРАТУ** времени паденія.

29. Такимъ образомъ, если въ теченіе одной секунды тѣло прошло разстояніе 16 футовъ, то въ теченіе 2-хъ секундъ оно пройдетъ разстояніе $2^2 \times 16$ фут. = 64 фута, въ 3 секунды — $3^2 \times 16$ фут. = 144 фута. Такимъ образомъ разстояніе будетъ всегда увеличиваться пропор-

ціонально квадрату времени паденія. Если время будетъ отложено по ординатъ, а пройденный путь по абсциссъ, то кривая, изображающая скорость паденія тѣла будетъ имѣть видъ, изображенный на фиг. 7. Но если время, какъ это обыкновенно принято, будетъ отложено по абсциссъ, то кривая будетъ имѣть видъ изображенный на фиг. 8.



30. Другимъ примѣромъ можетъ служить кривая, изображающая ватты, поглощенные въ сопротивленіи при различныхъ значеніяхъ тока, проходящаго черезъ это сопротивленіе.

Какъ извѣстно, ватты = $C \times V$, причемъ C есть токъ, выраженный въ амперахъ, а V - требуемое напряженіе въ вольтахъ.

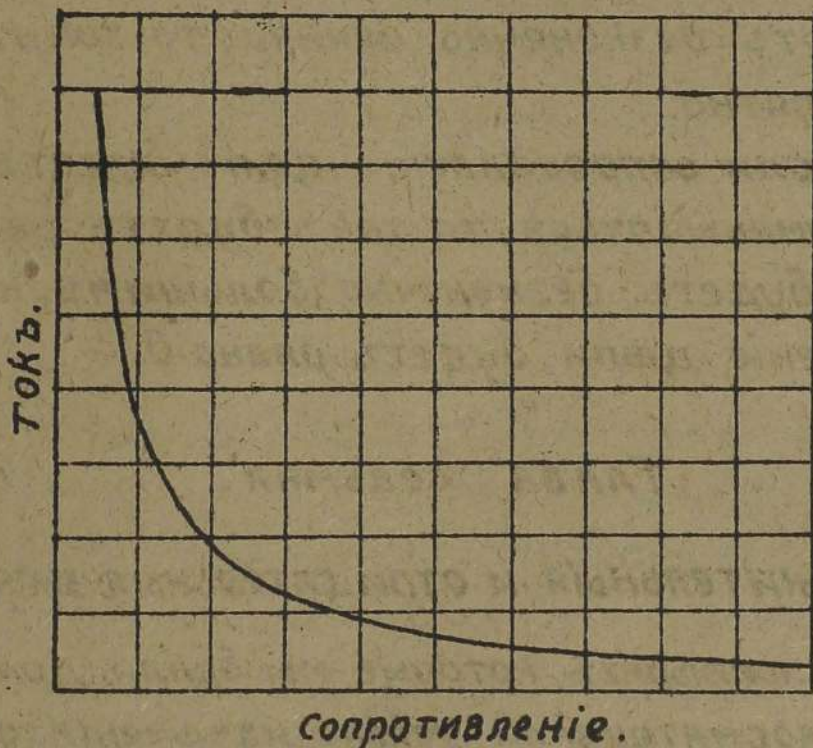
31. Изъ закона Ома мы знаемъ, что $V = CR$, гдѣ R есть сопротивленіе цѣпи. Подставивъ это значеніе V въ первое уравненіе, мы полу-

чимъ ватты $= C(C \times R) = C^2 R$. Отсюда слѣдуетъ, что число ваттъ, поглощенныхъ въ данномъ сопротивленіи пропорціонально квадрату тока, проходящаго черезъ это сопротивление. Поэтому кривая изображенная на фиг. 8 будетъ также изображать и возрастаніе ваттъ, поглощенныхъ въ данномъ сопротивленіи въ зависимости отъ силы тока, если по оси абсциссъ мы отложимъ силу тока, а по оси ординатъ, поглощенные въ сопротивленіи ватты.

Глава шестая.

Гипербола.

32. Когда одинъ факторъ обратно пропорціоналенъ другому фактору, то кривая, выражающая ихъ зависимость, принимаетъ форму, изображенную на фигурѣ 9. Эта кривая извест-



фиг. 9.

на подъ названіемъ Гиперболы. Примѣромъ этого можетъ служить кривая, изображающая токъ проходящій по цѣпи съ переменнымъ сопротивленіемъ, но при постоянномъ вольтажѣ.

33. Токъ, проходящій по цѣпи прямо пропорціоналенъ напряженію и обратно пропорціоналенъ сопротивленію этой цѣпи. Отсюда слѣдуетъ, что если напряженіе остается постояннымъ, то токъ проходящій по цѣпи будетъ обратно пропорціоналенъ ея сопротивленію.

34. Изъ этого видно, что если сопротивление будетъ безгранично возрастать, то токъ будетъ падать, и будетъ безконечно малымъ, тогда какъ сопротивление цѣпи будетъ безконечно большимъ.

Когда значеніе чего нибудь безконечно мало, то его считаютъ 0; отсюда, когда сопротивление цѣпи будетъ безконечно велико, то токъ падаетъ до 0, и обратно.

35. Если сопротивление цѣпи будетъ безконечно уменьшаться, то токъ будетъ увеличиваться и будетъ безконечно большимъ, когда сопротивление цѣпи будетъ равно 0.

Глава седьмая.

Положительныя и отрицательныя значенія.

36. Въ примѣрахъ, которые мы брали до сихъ поръ мы разсматривали только измѣненія факто-

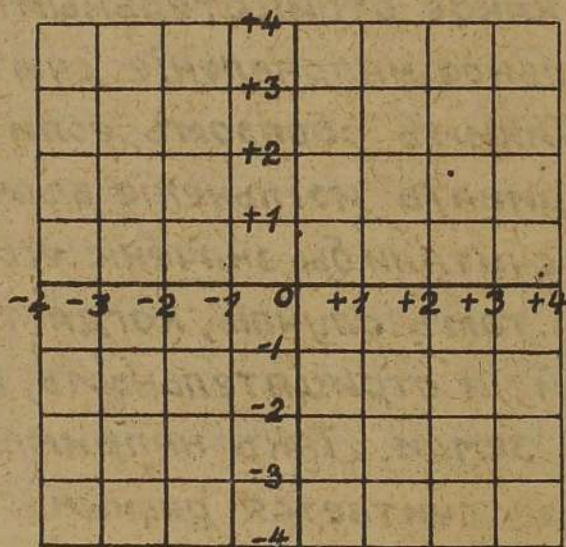
ровъ въ одномъ направленіи, а также мы указывали на то, какъ возрастаніе и уменьшеніе одного фактора въ отношеніи другого можетъ быть изображено посредствомъ возрастанія и паденія линіи, изображенной между двумя осями кривой; но мы еще до сихъ поръ не указывали, какъ можетъ быть изображено измѣненіе „знака“ или направленія фактора

37. Для опредѣленія различныхъ направленій фактора, одно называется **ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМЪ**, а другое **ОТРИЦАТЕЛЬНЫМЪ**. Строго не установлено какое направленіе называется положительнымъ и какое отрицательнымъ, но вообще, принято нормальное направленіе считать положительнымъ. Такимъ образомъ, если бы намъ пришлось разсматривать измѣненіе вѣся какого нибудь тѣла, мы считали бы значеніе его вѣся положительнымъ въ томъ случаѣ, когда тѣло притягивается землей, и отрицательнымъ, когда тѣло отдѣляется отъ земли. Такъ напримѣръ, вѣсъ воздушнаго шара считается равнымъ +100 фунтовъ, когда онъ пустой и -500 фунтовъ, когда онъ наполненъ водородомъ, и тогда онъ требуетъ силу въ 500 фунтовъ, чтобы удержать его на землѣ.

38. Подобно этому, когда мы разсматриваемъ силу тока проходящаго черезъ данную цѣпь, или часть цѣпи, и этотъ токъ имѣетъ то одно, то другое направленіе, мы считаемъ его значеніе положительнымъ въ томъ случаѣ, когда онъ, протекая по цѣпи, проходитъ черезъ заранее назна-

ченную точку въ одну сторону и отрицательнымъ въ томъ случаѣ, когда онъ проходитъ черезъ ту же точку въ обратномъ Направленіи.

39. На діаграммѣ значеніе фактора отложеннаго на ординатѣ будетъ положительнымъ, когда оно выше 0 и отрицательнымъ, когда оно ниже 0. Подобно этому значеніе фактора, отложеннаго на абсциссѣ будетъ положительнымъ, когда оно отложено направо отъ 0 и отрицательнымъ, когда оно отложено налѣво отъ 0.



Фиг. 10

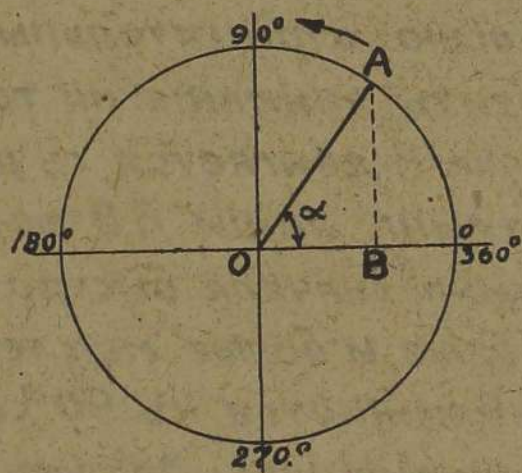
Глава восьмая.

Синусоидальная кривая.

40. Во многихъ случаяхъ періодическое измѣненіе тока, съ которымъ намъ придется имѣть дѣло можетъ быть изображено посредствомъ синусоидальныхъ кривыхъ. Подобно тому, какъ колебательное движеніе маятника въ теченіи извѣстнаго промежутка времени

можетъ быть графически изображено синусоидальной кривой, также точно можетъ быть изображено изменение тока въ колебательной цепи. На практикѣ во многихъ случаяхъ вслѣдствіе вліянія различныхъ постороннихъ факторовъ, кривая приметъ нѣсколько иное очертаніе и не будетъ соответствовать идеальной синусоидальной кривой, тѣмъ не менѣе для практическихъ цѣлей, преслѣдуемыхъ настоящимъ руководствомъ, она будетъ достаточно точна. Поэтому, въ дальнѣйшемъ, мы будемъ считать, что измененія значенія періодически изменяющихся переменныхъ слѣдуетъ простому синусоидальному закону.

41. Синусоидальная кривая, или какъ ее обыкновенно называютъ синусоида, можетъ быть построена слѣдующимъ образомъ. Предположимъ, что точка *A*, на фигурѣ 11, движет-



фиг. 11.

ся съ равномерной скоростью по окружности въ направленіи указанномъ стрѣлкой; тогда становится очевиднымъ, что въ то время какъ точка *A* движется по окружности, уголъ α будетъ непрерывно возрастать

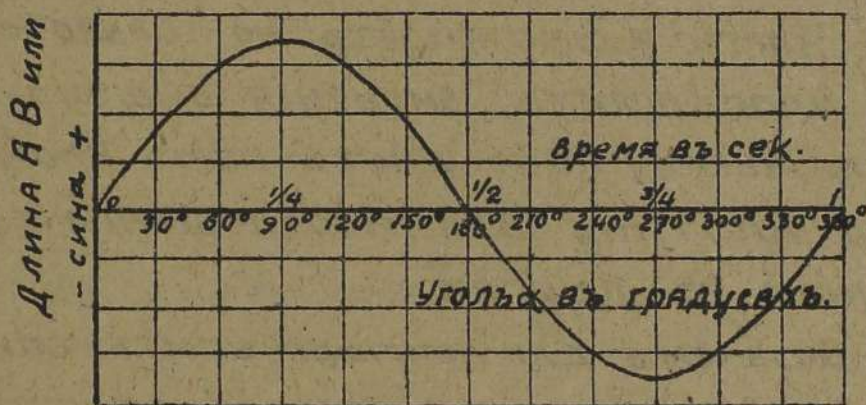
отъ 0 до 180° затѣмъ до 360° , т.е. снова до 0.

42. Длина перпендикуляра *AB* опущеннаго изъ точки *A* на горизонтальную ось окружности

пропорціональна „синусу“ угла α , потому что синусъ $\alpha = \frac{AB}{OA}$, а OA остается неизмѣннымъ за все время движенія. Отсюда видно, что по мѣрѣ движенія точки A длина линіи AB измѣняется отъ O въ тотъ моментъ когда точка A находится на 0° , до максимальной длины, когда A находится на 90° , и возвращается обратно къ O , когда A перемѣстится на 180° ; затѣмъ она снова достигаетъ максимальной величины, когда A находится на 270° и окончательно возвращается къ O , когда A совпадаетъ съ 360° или снова окажется на O . Для того, чтобы установить различіе между величинами находящимися надъ горизонтальной осью, и величинами находящимися подъ горизонтальной осью, принято считать значенія AB отъ 0° до 180° , т.е. находящіеся надъ горизонтальной осью, положительными и значенія AB отъ 180° до 360° , т.е. расположенныя подъ горизонтальной осью, отрицательными.

43. Теперь надо обратить вниманіе на то, что въ то время какъ точка A двигается съ равномерной скоростью, длина линіи AB мѣняется неравномерно; ея длина сначала быстро возрастаетъ, затѣмъ все болѣе и болѣе медленно и наконецъ когда A приближается къ 90° , ея длина остается почти неизмѣнной. Затѣмъ послѣ того какъ точка A проходитъ 90° , ея длина начинаетъ уменьшаться сначала медленно, затѣмъ все быстрее и быстрее и наконецъ, когда A достигаетъ 180° , то она снова равняется O и т.д.

44. Если теперь мы построимъ кривую, изображающую измененія длины линіи АВ, откладывая значенія ея длины на вертикальной оси, а истекшій періодъ времени на горизонтальной оси, кривая приметъ форму, показанную на фигурѣ 12. Такъ какъ линія АВ пропорціональна синусу α (см. § 42), то разстоянія, которыя отложены по вертикальной оси, могутъ также изображать и значенія синуса α , а такъ какъ величина угла α пропорціональна періоду времени, въ теченіи котораго точка А находится въ движеніи, то разстоянія отложенныя на горизонтальной оси могутъ также выражать и значенія угла α .



Фиг. 12.

Глава девятая.

Изображеніе двухъ или нѣсколькихъ кривыхъ на одной діаграммѣ.

45. Когда величина двухъ или нѣсколькихъ переменныхъ взаимно вліяютъ другъ на друга и связаны одной общей переменной, то и иногда бываетъ желательно и даже необходимо опредѣлить величину каждой изъ этихъ переменныхъ въ отдѣльности.

Если мы отложимъ значенія общей переменной на горизонтальной оси и значенія другихъ переменныхъ на вертикальной оси, то мы получимъ двѣ или нѣсколько кривыхъ, изображающихъ взаимоотношенія общей переменной съ каждой изъ другихъ переменныхъ. Это даетъ намъ возможность не только одновременно опредѣлить значенія вышеупомянутыхъ переменныхъ, но и даетъ намъ кромѣ того общую картину взаимоотношеній одной переменной къ другой.

46. Возьмемъ для примѣра опытъ, описанный въ §§ 22-24, гдѣ мы показали, что истеченіе воды изъ полного въ пустой сосудъ черезъ соединительную трубку слѣдуетъ логарифмическому закону. Въ данномъ случаѣ, кромѣ скорости истеченія воды есть еще другой факторъ, который также мѣняется въ связи съ измѣненіемъ періода времени, а именно количество воды перешедшей изъ полного въ пустой сосудъ,

и вполне понятно, что мы будем стремиться узнать не только быстроту течения воды, но также и точное количество этой воды.

47. Вполне понятно, что вначале опыта количество перешедшей воды было равно 0 и что через некоторый промежуток времени количество этой воды становится все больше и больше. Поэтому кривая, изображающая количество воды, начиная с нуля, будет быстро подыматься вверх, указывая на увеличение количества перешедшей воды (см. § 11).

Вполне понятно также, что быстрота, с которой увеличивается количество воды, пропорциональна силе течения воды в сосуде. И так скорость течения воды вначале больше, а затем постепенно уменьшается до тех пор пока она почти, но никогда совсем, не достигает 0. Отсюда следует, что **БЫСТРОТА**, с которой увеличивается количество воды, больше вначале опыта и постепенно уменьшается, приближаясь, но никогда не достигая своего окончательного значения.

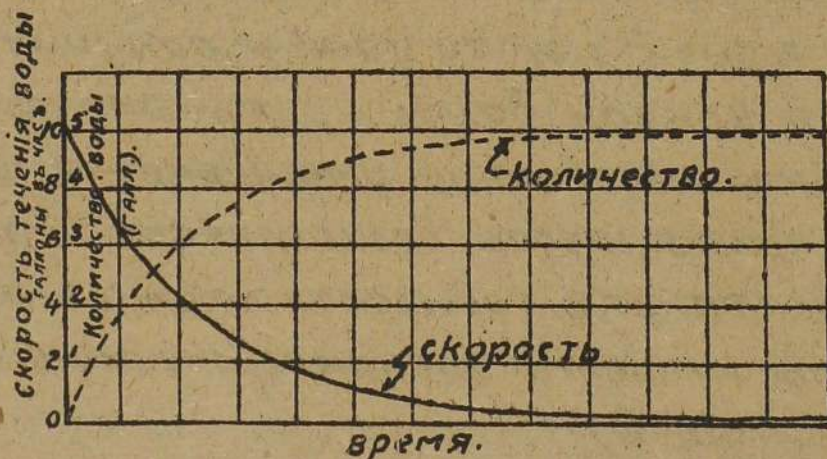
48. Если мы отложим количество воды на вертикальной оси то у нас получится, что уклон кривой больше крут вначале опыта и затем постепенно уменьшается до тех пор, пока кривая, после безконечного периода времени не станет горизонтальной, в этом случае мы имеем логарифмическую кривую (см. фигуру 6).

49. Увеличение количества воды имеет

прямое отношеніе къ быстротѣ, съ которой вода переходитъ изъ одного сосуда въ другой въ теченіи того же періода времени, и т. к. объ функции имѣютъ общую перемѣнную, а именно періодъ времени, то намъ будетъ удобнѣе, для того чтобы сравнивать взаимоотношенія перемѣнныхъ, также одновременно выяснить значенія времени, теченія воды и количества перешедшей воды; для этого мы построимъ объ кривыя на одной и той же плоскости, какъ показано на фигурѣ 13.

50. Здѣсь горизонтальная ось изображаетъ періодъ времени, въ то время какъ вертикальная ось изображаетъ галлоны въ одномъ случаѣ и скорость теченія выраженной въ галлонахъ - часахъ, въ другомъ случаѣ.

51. Когда на одной діаграммѣ изображено нѣсколько кривыхъ, то для того, чтобы ихъ было удобнѣе отличать другъ отъ друга, необходимо ихъ или вычерчивать цвѣтными чернилами или же изображать посредствомъ различнаго



сфиг. 13

начертанія. Такъ на фигурѣ 13 кривая, изображающая количество воды, нанесена пунктиромъ.

Глава десятая.

Теорія динамо-машинъ.

52. Всѣ динамо-машины могутъ быть раздѣлены на два типа, а именно: на ДИНАМО-МАШИНЫ ПЕРЕМѢННАГО ТОКА, извѣстные подъ названіемъ альтернаторовъ, и ДИНАМО-МАШИНЫ ПОСТОЯННАГО ТОКА. Основные принципы устройства обоихъ типовъ одинаковы, но методъ примѣненія этихъ основныхъ принциповъ измѣняется соотвѣтственно преслѣдуемой цѣли.

Электрическій токъ индуктируется въ катушкѣ вслѣдствіе ея перемѣщенія въ магнитномъ полѣ. Полученный токъ есть результатъ разности потенциаловъ на обоихъ концахъ катушки, а РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦІАЛОВЪ ЕСТЬ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ИНДУКТИРОВАННАЯ ВЪ КАТУШКѢ БЛАГОДАРЯ ДВИЖЕНІЮ ЕЯ ВЪ МАГНИТНОМЪ ПОЛѢ.

53. Динамо-машина-приборъ, въ которомъ получается электродвижущая сила, вслѣдствіе вращенія одной или нѣсколькихъ катушекъ въ магнитномъ полѣ.

Глава одиннадцатая.

Значеніе проводниковъ при пересѣченіи магнитныхъ силовыхъ линій.

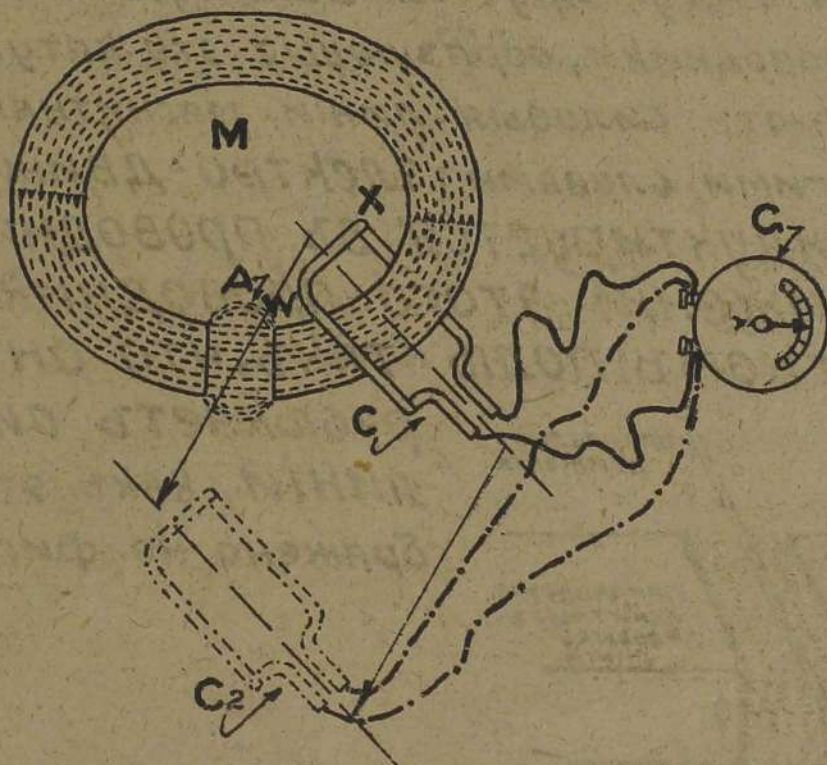
54. Электродвижущая сила въ индукціонной катушкѣ, получаемая вслѣдствіе электро магнитной индукціи и благодаря которой возникаетъ электрической токъ, получается благодаря измѣненію числа силовыхъ линій, проходящихъ черезъ катушку. Въ объясненіи дѣйствій динамо-машины, легче исходитъ изъ того положенія, что электро-движущая сила получается въ проводникахъ катушки при пересѣченіи силовыхъ линій.

Слѣдующіе опыты покажутъ намъ, что мы подразумѣваемъ подъ выраженіемъ „проводникъ пересѣкающій силовыя линіи“ и въ то же самое время мы убѣдимся, что это есть не что иное, какъ измѣненіе числа магнитныхъ линій, проходящихъ внутри катушки.

55. Фигура 14 изображаетъ индукціонную катушку C , состоящую изъ одного оборота, концы которой соединены съ гальванометромъ G , служащимъ для точнаго опредѣленія напряженія и направленія какого бы то ни было тока, проходящаго черезъ индукціонную катушку.

Черезъ эту катушку проходитъ постоянный магнитъ M съ воздушнымъ промежуткомъ A , силовыя линіи, возбужденныя магнитомъ изображены пунктиромъ, а направленіе

этихъ линій обозначены стрѣлками. Вполнѣ понятно, что когда катушка находится въ положеніи C , всѣ силовыя линіи проходятъ внутри нея. Если же мы теперь начнемъ двигать катушку черезъ воздушный промежутокъ до тѣхъ поръ, пока она не приметъ положеніе C_2 , то мы этимъ измѣнимъ количество силовыхъ линій проходящихъ черезъ нее, потому что въ положеніи C_2 силовыя линіи не проходятъ черезъ катушку. При измѣненіи же числа силовыхъ линій, т.е. въ то время когда катушка проходитъ черезъ воздушный промежутокъ, въ ней будетъ индуцироваться электро-движущая сила, въ результатъ чего, произойдетъ отклоненіе стрѣлки гальванометра.

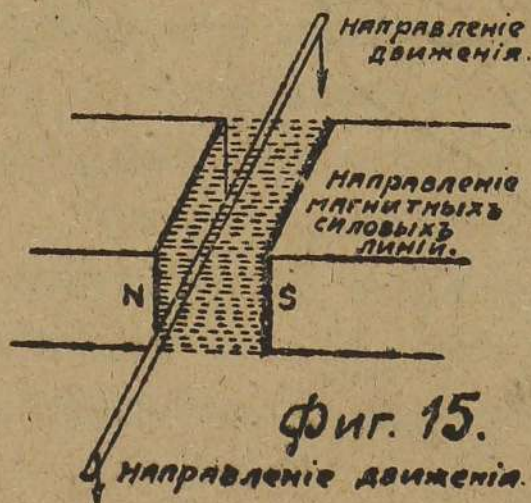


Фиг. 14.

56. Произведемъ этотъ же опытъ, слегка измѣнивъ его, а именно, заставимъ одинъ изъ проводниковъ катушки пересѣчь магнитныя силовыя линіи. Если мы представимъ себѣ силовыя линіи въ видѣ нитей, протянутыхъ отъ одного магнитнаго полюса къ другому, то при перемѣщеніи катушки въ положеніе S_2 , сторона или проводникъ катушки WX должны перервать всѣ эти нити; такимъ образомъ проводникъ можетъ быть разсмотрѣнъ какъ „пересѣкающій магнитныя силовыя линіи“. Но понятно, что магнитныя линіи не могутъ быть разорваны; въ дѣйствительности они проходятъ сквозь проводникъ, при чемъ магнитное поле никогда не бываетъ нарушено.

57. Мы можемъ сказать, что электро-движущая сила индуктируется въ катушку тогда, когда проводники, образующіе эту катушку пересѣкаютъ силовыя линіи магнитнаго поля или другими словами: электро-движущая сила индуктируется въ проводникъ при движеніи этого проводника въ магнитномъ полѣ такъ, что онъ пе-

ресѣкаетъ силовыя линіи, какъ это изображено на фигурѣ 15.



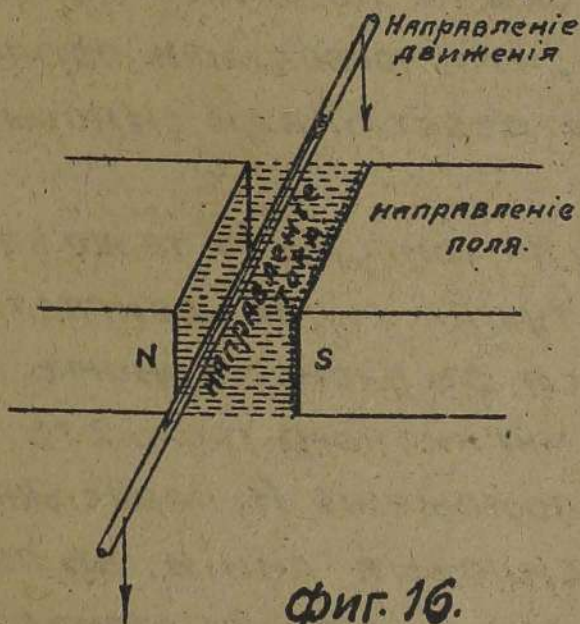
фиг. 15.

Глава двѣнадцатая.

Направленіе индуктированнаго тока.

58. Если два конца проводника соединить такимъ образомъ, чтобы получилась замкнутая цѣпь, то токъ движущійся по этой цѣпи является результатомъ электро-движущей силы и направленіе этого тока зависитъ отъ двухъ причинъ, а именно: 1) направленія магнитныхъ силовыхъ линій, и 2) направленія движенія проводника.

59. Фигура 16 показываетъ взаимоотношенія между направленіемъ магнитныхъ линій, направленіемъ движенія проводника и направленіемъ полученнаго индуктированнаго тока. Для того, чтобы легче было запомнить эти направленія, нужно разставить большой, указательный и средній пальцы правой руки, такъ какъ показано на фигурѣ 17; тогда если



Фиг. 16.

большой палецъ указываетъ направленіе движенія, а указательный палецъ направленіе силовыхъ линій магнитнаго потока, то второй палецъ будетъ указывать направленіе индуктированнаго тока

60. Приложивъ это правило къ различнымъ случаямъ. мы увидимъ, что направленіе тока въ проводникъ будетъ измѣняться въ зависимости отъ измѣненія или направленія магнитныхъ линій или же направленія движенія. Но если оба направленія измѣнены, направленіе индуктированнаго тока останется неизмѣннымъ. Для того чтобы объяснить это явленіе болѣе наглядно, мы возьмемъ пять случаевъ перемѣщенія индукціонной катушки въ магнитномъ полѣ, какъ показано на фигурахъ 18, 19, 20, 21 и 22.

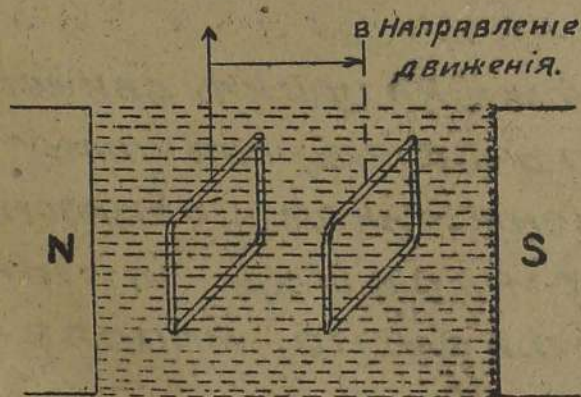
61. На фигурѣ 18 катушка образуетъ замкнутую цѣпь. Мы двигаемъ ее въ равномерномъ магнитномъ полѣ отъ положенія А ВДОЛЬ магнитныхъ сил. линій въ положеніе В. Въ этомъ случаѣ токъ въ катушкѣ не появится потому, что измѣненія въ числѣ силовыхъ линій, проходящихъ черезъ катушку, не произошло. Можно также сказать, что токъ не появился въ катушкѣ вслѣдствіе того, что проводники образующіе эту катушку, не пересѣкали силовыхъ линій



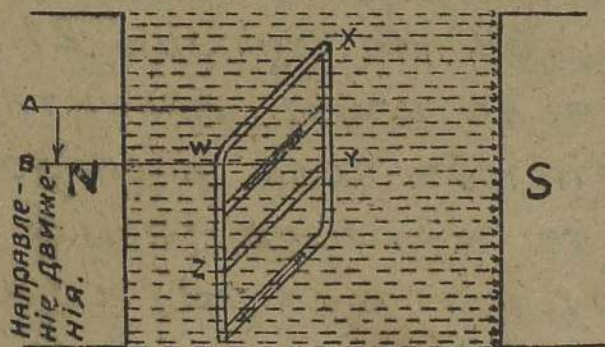
фиг. 17.

62. На фигурѣ 19 та же катушка снова двигается въ равномерномъ магнитномъ полѣ отъ положенія А, пересѣкая силовыя линіи въ положеніе В. Въ этомъ случаѣ токъ снова не появит-

ся, потому что измененія въ числѣ силовыхъ ли-
ній, проходящихъ черезъ нее, не произошло;
но т.к. проводникъ, образующій катушку пере-
ськъ магнитныя линіи, то на первый взглядъ
кажется, что токъ долженъ былъ бытъ индукти-
рованъ. Если же мы при помощи изложеннаго
въ § 59 тщательно проанализируемъ явленія,
проходящія въ различныхъ частяхъ катушки,
то мы увидимъ, что токъ который стремится
появиться въ верхней части проводника катуш-
ки, WX , какъ результатъ пересѣченія магнит-
ныхъ линій, будетъ направленъ слѣва напра-
во, если смотрѣть на катушку отъ южнаго по-
люса къ сѣверному; то же самое можно ска-
зать относительно тока стремящагося появить-
ся въ нижнемъ проводникѣ YZ . Такимъ обра-
зомъ оба тока или вѣрнѣе объ электро-дви-
жущія силы, индуктированныя въ катушку,
взаимно уничтожаютъ другъ друга, въ резуль-
татъ чего токъ не появляется. Очевидно так-
же, что электро-движущая сила не появляет-
ся и въ проводникѣ WZ , потому что оба эти
проводника двигаются въ магнитномъ полѣ
по **направленію своей длины**.

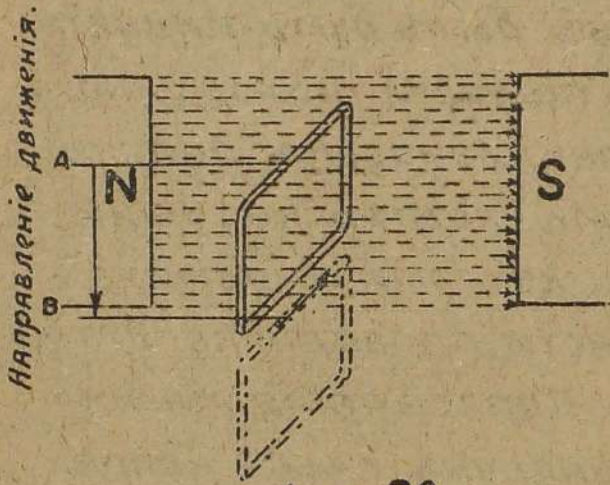


фиг. 18.



фиг. 19.

63. На фигуру 20 та же катушка движется въ магнитномъ полѣ отъ положенія А, находящагося внутри магнитнаго поля, пересѣкая силовыя линіи, въ положеніе В, находящагося внѣ поля. Въ этомъ



фиг. 20.

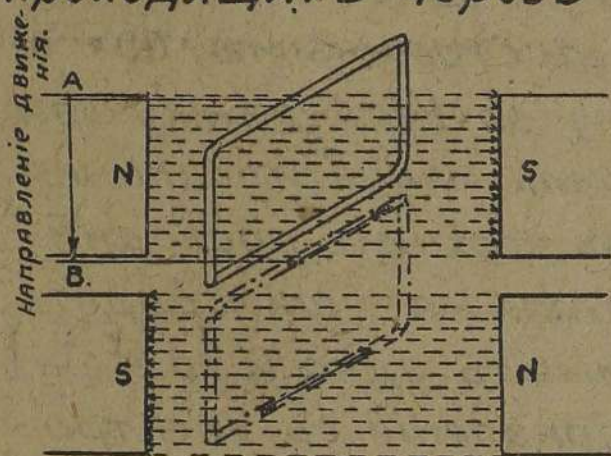
случаѣ токъ появляется въ катушкѣ, потому что произошло измѣненіе въ числѣ силовыхъ линій, проходящихъ черезъ нее. Можно также сказать, что токъ появился въ катушкѣ, благодаря тому, что верхній про-

водникъ движущійся въ полѣ магнитныхъ линій пересѣкаетъ ихъ, а нижній проводникъ движущійся внѣ поля ихъ не пересѣкаетъ. Токъ же въ катушкѣ возникаетъ благодаря электро-движущей силѣ индуктированной въ верхнемъ проводникѣ. Этотъ случай электро-движущей силы появившейся въ верхнемъ проводникѣ является противоположностью указанному на фигуру 19, гдѣ электро-движущая сила была индуктирована также и въ нижнемъ проводникѣ.

64. На фигуру 21 та же катушка движется въ двухъ магнитныхъ поляхъ, причѣмъ эти оба поля расположены такимъ образомъ, что направленіе силовыхъ линій одного противоположно направленію линій другого.

Здѣсь катушка движется отъ положенія А, въ которомъ она охватываетъ первое поле и пересѣкая магнитныя силовыя линіи переходитъ въ положеніе В, въ которомъ она охватываетъ второе поле. При переходѣ проводника отъ одного положенія въ другое мы увидимъ, что верхній проводникъ катушки пересѣкаетъ противоположное поле въ томъ же самомъ направленіи.

Такимъ образомъ электро-движущая сила, появившаяся въ верхнемъ проводникѣ, стремится создать токъ въ томъ же направленіи, какъ и сила, появившаяся въ нижнемъ проводникѣ. Поэтому въ катушкѣ будетъ индуктированъ токъ. Исходя снова изъ точки зрѣнія измененія числа силовыхъ линій, проходящихъ черезъ катушку, мы будемъ

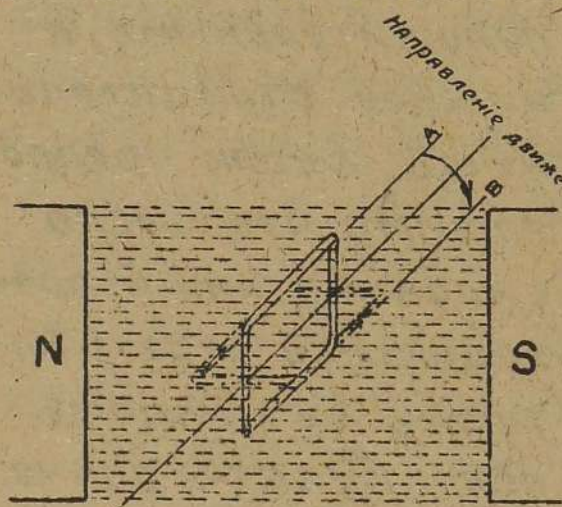


Фиг. 21.

считать верхнее поле положительнымъ, а нижнее отрицательнымъ, и если предположимъ что число силовыхъ линій, проходящихъ черезъ катушку въ каждомъ полѣ будетъ равно

6, то измененіе числа силовыхъ линій при переходѣ катушки изъ одного положенія въ другое, будетъ равно разницѣ между +6 и -6, т.е. иначе говоря равно 12.

65. Фигура 22 изображает катушку, вращающуюся въ равномерномъ магнитномъ полѣ вокругъ своей оси, отъ положенія А въ положеніе В. Въ этомъ случаѣ въ катушкѣ будетъ индуктированъ токъ, потому что въ положеніи А магнитныя линіи проходятъ черезъ нее, въ положеніи же В не проходятъ такъ какъ она расположена вдоль магнитнаго поля. Поэтому въ числѣ магнитныхъ линій, проходящихъ черезъ катушку, произошла перемѣна. Изслѣдуя это съ точки зрѣнія пересѣченія магнитныхъ линій, мы увидимъ, что въ то время какъ верхній проводникъ пересѣкаетъ силовыя линіи, перемѣщаясь сверху внизъ, нижній проводникъ катушки пересѣкаетъ силовыя линіи, перемѣщаясь снизу вверхъ, направленіе же силовыхъ линій остается постояннымъ. Поэтому



фиг. 22.

электродвижущая сила индуктированная въ верхнихъ проводникахъ катушки будетъ имѣть одно и то же направленіе съ электродвижущей силой индуктированной въ нижнемъ проводникѣ.

Такимъ образомъ мы получаемъ тотъ же результатъ, какъ и въ опытѣ изображенномъ на фигурѣ 21.

Глава тринадцатая.

Соотношеніе между электро-дви-
жущей силой, магнитнымъ полемъ
и скоростью пересъченія.

66. Если въ опытѣ изображенномъ на фи-
гурѣ 14, мы присоединимъ къ катушкѣ галь-
ванометръ или какой-либо другой приборъ,
который бы своими отклоненіями показывалъ
относительныя значенія полученной электро-
движущей силы, то мы получимъ возможность
опредѣлить соотношенія между скоростью
перемѣщенія силы магнитнаго поля
и получаемой электро-движущей
силой

67. Если мы будемъ вращать катушку въ
магнитномъ полѣ, вначалѣ медленно, затѣмъ
скорѣе, то мы увидимъ, что чѣмъ скорѣе
вращается катушка, тѣмъ больше по-
лучаемая электро-движущая сила.
Теперь если катушка будетъ вращаться съ
опредѣленной быстротой сначала въ слабомъ
магнитномъ полѣ, а затѣмъ въ сильномъ, то
мы увидимъ, что получаемая электро-
движущая сила тѣмъ больше,
чѣмъ сильнѣе поле.

68. Чѣмъ сильнѣе магнитное поле, тѣмъ
болѣе магнитныхъ силовыхъ линій, проходя-
щихъ черезъ него. Отсюда мы приходимъ
къ выводу, что электро-движущая

сила, получаемая при пересѣченіи проводникомъ магнитныхъ силовыхъ линій, пропорціональна скорости, съ которой пересѣкаются эти линіи, или другими словами пропорціональна числу линій, пересѣкаемыхъ въ секунду.

Это правило можетъ быть выражено слѣдующимъ уравненіемъ: $\text{Э. Д. С.} = \frac{\text{полному числу силовыхъ лин.}}{\text{время пересѣченія силов. линій}}$ или если N = полному числу магнитныхъ силовыхъ линій, t = времени, требуемое на пересѣченіе линій, то электро-движущая сила = $\frac{N}{t}$.

69. Напримѣръ, предположимъ, что проводникъ долженъ пересѣчь равномерное магнитное поле, имѣющее 1000 силовыхъ линій въ теченіи двухъ секундъ. Подставивъ уравненіе, получимъ $\text{Э. Д. С.} = \frac{1000}{2} = 500$; Теперь, если проводникъ будетъ двигаться въ два раза быстрее, т.е. иначе говоря, если онъ будетъ проходить поле въ теченіе только 1 секунды, то въ этомъ случаѣ мы получимъ $\text{Э. Д. С.} = \frac{1000}{1} = 1000$.

70. Въ опытахъ изображенныхъ на фигурахъ 21 и 22, мы показывали какъ Э. Д. С., полученная въ верхнемъ проводникѣ, складывается съ Э. Д. С. полученной въ нижнемъ проводникѣ. Поэтому электро-движущая сила, полученная въ катушкѣ равна суммѣ электро-движущихъ силъ, полученныхъ въ верхнемъ и нижнемъ проводникахъ. Подоб-

но этому, повторивъ опыты, описанные въ §§ 61-65, но применяя катушки, состоящія изъ нѣсколькихъ проводниковъ, мы увидимъ, что когда нѣсколько проводниковъ пересѣкаютъ магнитное поле въ одномъ направленіи, то всѣ Э.Д.С. суммируются, т.е. $\text{Э.Д.С.} = \frac{N}{t} \times \Phi$, гдѣ N = число магнитныхъ силовыхъ линій, t - время, въ теченіе котораго пересѣкаются магнитныя линіи, Φ = число проводниковъ, пересѣкающихъ эти линіи.

71. Эта формула даетъ значеніе Э.Д.С. въ абсолютныхъ единицахъ, 10^8 абсолютныхъ единицъ Э.Д.С. = 1 вольту, такимъ образомъ мы можемъ выразить наше уравненіе слѣдующимъ образомъ :

$$\text{Э.Д.С. вольтахъ} = \frac{N \Phi}{t} \times 10^8 \text{ или } \frac{N \times \Phi}{t \times 10^8}$$

Глава четырнадцатая.

Форма волны Э.Д.С. индуктированной въ проводникахъ.

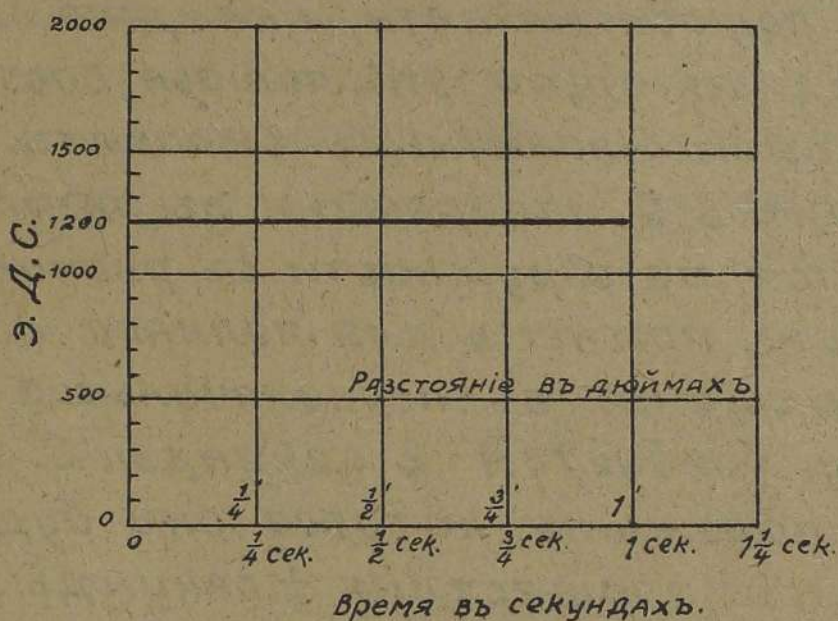
72. Очевидно, что если сила магнитнаго поля неравномерна, то вышеприведенная формула будетъ служить для опредѣленія только средняго значенія Э.Д.С. полученнаго за нѣкоторый промежутокъ времени, потому что въ этомъ случаѣ быстрота пересѣченія магнитныхъ линій будетъ различна въ разные періоды времени. По этой же причинѣ, если скорость проводника въ маг-

нитномъ полѣ будетъ мѣняться въ теченіе промежутка времени, то формула будетъ служить для опредѣленія только средняго значенія полученной э.д.с.

73. При этихъ условіяхъ, необходимо вычислить значенія э.д.с. Въ различные промежутки времени и полученный результатъ можетъ быть графически изображенъ въ формѣ кривой, причемъ на ординатахъ будетъ отложена э.д.с., а на абсциссахъ - время. Если скорость движенія проводника равномерно, то понятно, что абсциссы могутъ также изображать и пройденныя разстоянія. Такимъ образомъ, если скорость проводника равна 1 дюйму въ секунду, то разстоянія отложенныя на абсциссахъ будутъ изображать или же секунды, или же дюймы.

74. Возьмемъ уже разсмотрѣнный нами случай съ проводникомъ, пересѣкающимъ равномерное магнитное поле, состоящее изъ 12.000 линій на 1 кв. дюймъ и предположимъ также, что проводникъ пересѣкаетъ это поле съ равномерной скоростью въ теченіи одной секунды, отсюда слѣдуетъ, что во все время своего движенія, въ теченіи каждой секунды, проводникъ будетъ пересѣкать 12.000 магнитныхъ линій и поэтому въ любой моментъ э.д.с. (выраженная въ абсолютныхъ единицахъ) будетъ равна 12.000.

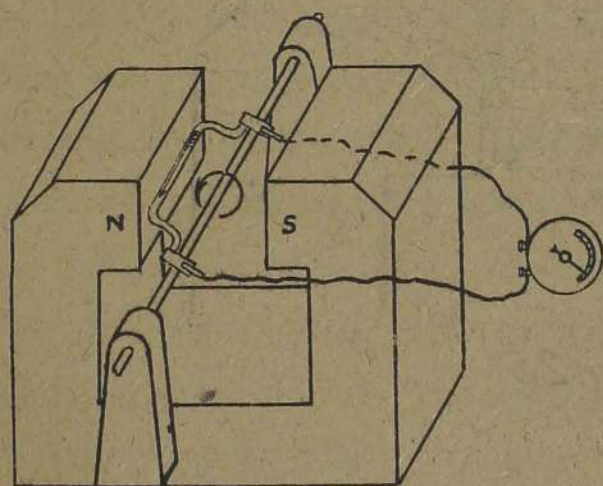
„Кривая“, изображающая э.д.с. приметъ въ этомъ случаѣ форму прямой, какъ то показана на фигурѣ 23, гдѣ ординаты изображаютъ значенія э.д.с., абсциссы же — либо промежутки времени, выраженные въ доляхъ секунды, либо пройденныя разстоянія, выраженные въ доляхъ дюйма.



Время въ секундахъ.

фиг. 23.

75. Разсмотримъ теперь случай, изображенный на фигурѣ 24, гдѣ проводникъ вращается въ равномерномъ магнитномъ полѣ и

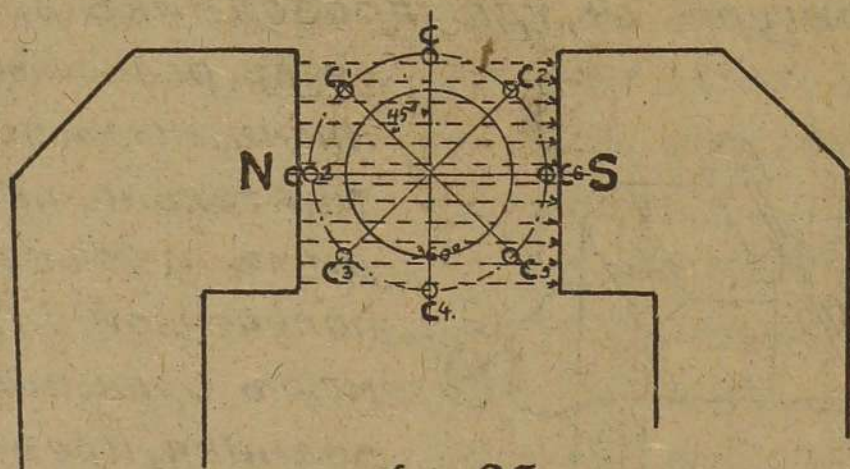


фиг. 24.

тщательно прослѣдимъ измѣненія въ полученной э.д.с., по мѣрѣ вращенія проводника. Предположимъ снова, что поле въ которомъ вра-

щается проводникъ состоитъ изъ 12.000 магнитныхъ силовыхъ линій, равномерно распределенныхъ по всей площади полюса и что для полнаго оборота проводника катушки требуется 2 секунды.

76. Фигура 25 изображаетъ тотъ же случай въ болѣе простой формѣ. Буквы N и S соответственно изображаютъ сѣверный и южный полюсы магнита, а каждая изъ линій соединяющая эти полюса, состоитъ изъ тысячи магнитныхъ силовыхъ линій. Проводникъ C изображенъ въ разрьзѣ и движается по окружности съ равномерной скоростью, при чемъ для полнаго оборота и возвращенія въ первоначальное положеніе ему требуется 2 секунды. C₁ изображаетъ положеніе, которое онъ будетъ занимать по прошествіи $\frac{1}{4}$ секунды. C₂, C₃, C₄ и т. д. будутъ изображать положенія, которыя онъ будетъ занимать черезъ каждыя $\frac{1}{4}$ секунды.



фиг. 25.

77. Составивъ число линій пересѣкаемыхъ проводникомъ въ теченіи каждой $\frac{1}{4}$ секунды увидимъ, что въ первую $\frac{1}{4}$ секунды онъ пересѣчетъ 2 линіи, во вторую 4 линіи, въ третью 4 линіи, въ четвертую 2 линіи, въ пятую 2 линіи, въ шестую 4 линіи, въ седьмую 4 линіи, въ восьмую 2 линіи.

78. Примѣнимъ нашу формулу Э.Д.С. = $\frac{N}{t}$ и т.к. каждая линія на рисункѣ изображаетъ 1000 магнитныхъ силовыхъ линій, мы увидимъ, что среднія значенія Э.Д.С. полученной въ каждую часть секунды слѣдующія :

Время. $\frac{1}{4}$ секунды	Э.Д.С. 8,000	Время. $1\frac{1}{4}$ секунды.	Э.Д.С. 8,000
» $\frac{1}{2}$ »	16,000	» $1\frac{1}{2}$ »	16,000
» $\frac{3}{4}$ »	16,000	» $1\frac{3}{4}$ »	16,000
» 1 »	8,000	» 2 »	8,000

79. Примѣнивъ опять правило, объясненное въ § 59, увидимъ, что Э.Д.С. полученная въ проводникѣ, въ теченіи первой половины вращенія, т.е. въ теченіи первой секунды, стремится создать токъ, направленный въ противоположную сторону Э.Д.С., полученной въ теченіи второй половины вращенія. Это происходитъ отъ того, что направленіе движенія проводника противоположно направленію магнитныхъ линій.

80. Положительнымъ концомъ проводника, въ которомъ появилась Э.Д.С., можемъ назвать тотъ, **ПО НАПРАВЛЕНІЮ** котораго токъ стремится передвигаться и отрицательнымъ тотъ — **ОТЪ КОТОРАГО** токъ стремится передвигаться. Поэтому мы можемъ сказать, что на концъ проводника, изображенномъ на фигурѣ 25, положительная (+) Э.Д.С. появляется въ теченіи перваго періода вращенія и отрицательная (-) Э.Д.С. въ теченіи второго періода вращенія.

81. Такъ какъ проводникъ сдѣлалъ полный кругъ вращенія, то другими словами можно сказать, что онъ прошелъ разстояніе равное углу въ 360° и т.к. на полный оборотъ проводнику требуется 2 секунды, то отсюда слѣдуетъ, что въ теченіи каждой $\frac{1}{4}$ секунды онъ проходилъ уголъ въ 45° . Если скорость вращенія проводника постоянна, то приходимъ къ заключенію, что Э.Д.С. находится въ соотношеніи съ временемъ или въ соотношеніи съ угловымъ положеніемъ проводника.

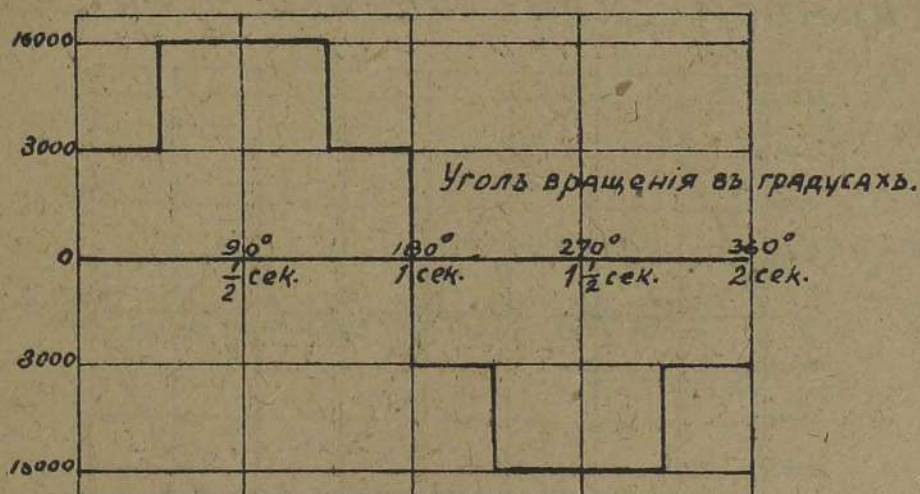
82. Мы можемъ теперь слѣдующимъ образомъ передѣлать таблицу, изображенную въ § 78:

Время.	Угловое положеніе пр-ка.	Э.Д.С.	Время.	Угловое положеніе проводника.	Э.Д.С.
$\frac{1}{4}$ секунды	45°	8,000	$1\frac{1}{4}$ секунды	225°	- 8,000
"	90°	16,000	$1\frac{1}{2}$ "	270°	- 16,000
$\frac{3}{4}$ "	135°	16,000	$1\frac{3}{4}$ "	315°	- 16,000
1 "	180°	8,000	2 "	360°	- 8,000

Если эти значенія будутъ изображены, какъ обыкновенно принято, т. е., если положительныя значенія будутъ нанесены вверхъ отъ горизонтальной оси, а отрицательныя - внизъ, то кривая, изображающая полученную э. д. с. приметъ форму, изображенную на фигурѣ 26.

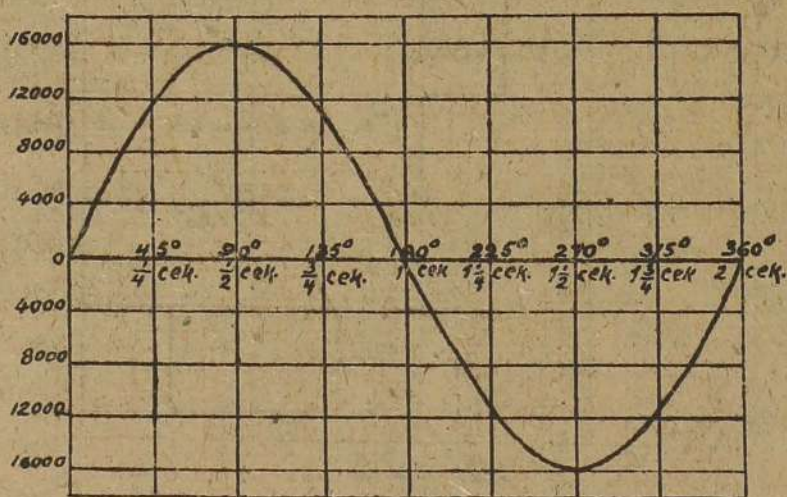
83. Однако эти значенія не будутъ дѣйствительно выражать результаты, полученные при вращеніи проводника съ равномерной быстротой въ равномерномъ магнитномъ полѣ. И вотъ по какимъ причинамъ:

Для болѣе простаго объясненія значеній э. д. с. предполагали, что быстрота пересѣченія магнитныхъ линій была равномерна въ теченіи каждой $\frac{1}{4}$ секунды. Въ дѣйствительности же быстрота пересѣченія, въ разныя доли секунды, различна. Такъ въ началѣ первой секунды, т. е. при 0° , проводникъ движется параллельно силовымъ линіямъ, и поэтому не пересѣкаетъ ихъ. Когда же онъ двигается дальше по ок-



Фиг. 26.

ружности, то онъ пересѣкаетъ все большее и большее число линій въ теченіи каждой доли секунды, до тѣхъ поръ пока онъ не достигаетъ максимальной быстроты пересѣченія при 90° . Отъ этой точки быстрота пересѣченія снова начинаетъ падать до тѣхъ поръ пока онъ не возвращается къ нулю при 180° , гдѣ проводникъ снова движется параллельно направленію силовыхъ линій; съ этой точки быстрота пересѣченія снова начинаетъ возрастать, но при этомъ проводникъ пересѣкаетъ силовыя линіи въ противоположномъ направленіи, до тѣхъ поръ пока не достигнетъ своего отрицательнаго максимума при 270° , послѣ чего быстрота пересѣченія снова падаетъ до нуля при 360° . Если бы мы, вмѣсто того, чтобы брать значеніе э. д. с. каждыя $\frac{1}{4}$ секунды, брали бы гораздо больше истинныя значенія э. д. с., полученной въ проводникъ въ различные періоды его вращенія. Тогда кривая, изображающая э. д. с. приметъ форму „синусоидальной кривой“, какъ показано на фигурѣ 27.



фиг. 27.

84. Когда полученная э.д.с. постоянно изменяется от положительнаго максимума до отрицательнаго, какъ показано въ предыдущихъ параграфахъ, то ее называютъ **переменной э.д.с.**, а токъ, полученный въ цепи, какъ результатъ этой э.д.с. извѣстенъ подъ названіемъ **переменнаго тока**, обыкновенно обозначается буквами **А.С.*** Полное вращеніе, какъ изображено на фигурѣ 27, извѣстно подъ названіемъ **періода**, а число періодовъ въ секунду извѣстно подъ названіемъ **частоты**. Динамомашинъ въ которыхъ вырабатывается переменная э.д.с., извѣстны подъ названіемъ **Альтернаторовъ**. Та часть динамомашинъ, которая вырабатываетъ магнитное поле, называется **МАГНИТАМИ**, а та часть, въ которой находятся проводники и въ которой вырабатывается э.д.с., называется **Обмоткой Якоря**.

85. Изъ нашей формулы $Э.д.с. = \frac{N}{\tau} \times \Phi$ очевидно, что при данной скорости вращенія и величинѣ или напряженіи магнитнаго поля можемъ увеличить э.д.с., полученную въ динамомашинѣ тремя способами, во первыхъ, увеличивъ напряженіе поля, во вторыхъ, увеличивъ число проводниковъ въ якорѣ и въ третьихъ увеличивъ скорость вращенія.

*) въ англійскихъ руководствахъ.

Глава пятнадцатая

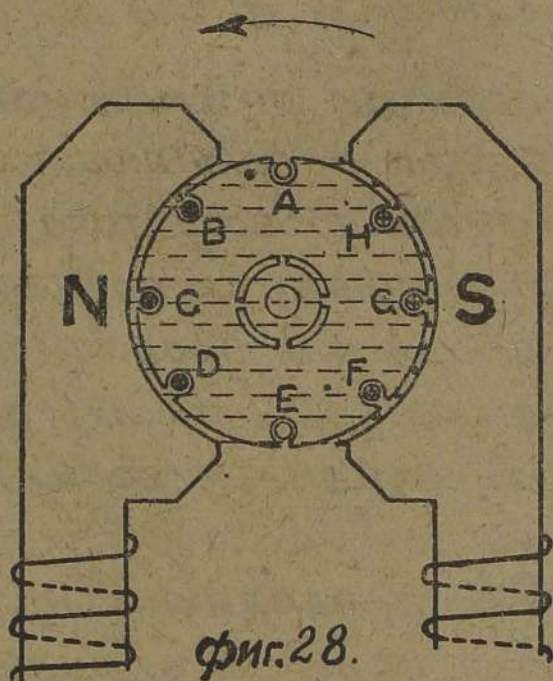
Величина напряженности магнитнаго поля.

86. Просмотрѣвъ фигуру 25, увидимъ, что разстояніе между 2-мя полюсами магнита должно быть немного больше 2-хъ радиусовъ той окружности, по которой вращается проводникъ.

87. Мы раньше объяснили, что при данномъ магнитномъ напряженіи, число силовыхъ магнитныхъ линій, въ магнитномъ пространствѣ, будетъ зависѣть отъ сопротивленія магнитной цѣпи, которое въ свою очередь зависить главнымъ образомъ отъ воздушнаго промежутка. Отсюда понятно, что **уменьшая воздушный промежутокъ** между полями, получимъ болѣе сильную напряженность и поэтому большее количество магнитныхъ линій съ той же магнитной силой.

88. Этотъ воздушный промежутокъ можетъ быть сокращень 2-мя способами, во первыхъ: если придадимъ полюсамъ форму кривой, такъ чтобы они были параллельны пути вращенія проводника, во вторыхъ, если заполнимъ все пространство, въ которомъ движется проводникъ, т.е. другими словами середину якоря, железомъ. Такой способъ показанъ на фи-

гурь 28, гдѣ какъ и бываетъ въ большинствѣ динамомашинъ проводники уложены въ желѣзо, что сокращаетъ до минимума промежутокъ между желѣзомъ магнита и желѣзомъ якоря.



89. При увеличеніи напряженія магнитнаго поля до нѣкоторой величины, будетъ происходить **распредѣленіе силовыхъ магнитныхъ линій**, такимъ образомъ, что въ результатѣ Э.Д.С. полученная при совершеніи проводникомъ полного оборота не будетъ точно слѣдовать синусоидальной кривой, изображенной на фигурѣ 27. На практикѣ, кривая, изображающая значенія Э.Д.С. полученной при вращеніи якоря, будетъ имѣть болѣе или менѣе неправильную форму всегда приближающуюся къ формѣ синусоидальной кривой. Такая кривая, полученная для всякаго аль-

тернатора называется **формой волны э.д.с. машины.**

Глава шестнадцатая.

Способъ увеличенія числа проводниковъ.

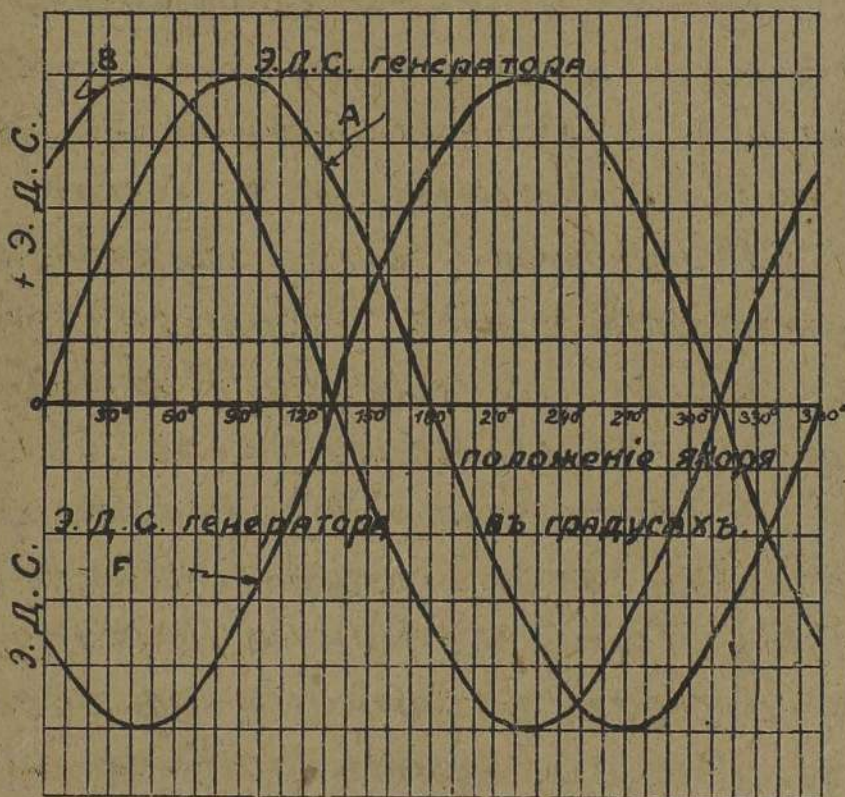
90. До сихъ поръ мы рассматривали случай ординарнаго проводника вращающагося въ магнитномъ полѣ, но если вмѣсто того, чтобы вращать одинъ проводникъ, распредѣлимъ нѣкоторое число отдѣльныхъ проводниковъ вокругъ оси якоря и будемъ вращать ихъ вмѣстѣ, то переменная Э.Д.С. появится въ каждомъ проводникѣ.

На фигурѣ 28, проводники находящіеся подъ сѣвернымъ полюсомъ, „положительны“, а подъ южнымъ полюсомъ - „отрицательны“, они показываютъ такимъ образомъ направленіе Э.Д.С. появившейся въ данный моментъ въ каждомъ проводникѣ. Примѣнивъ теперь правило, изложенное въ § 59, и взявъ направленіе вращенія якоря и направленіе магнитнаго поля, какъ показано стрѣлками, увидимъ, что Э.Д.С. появившаяся въ проводникахъ противъ сѣвернаго полюса будетъ направлена къ читателю, а Э.Д.С. въ проводникахъ противъ южнаго полюса будетъ направлена отъ читателя.

91. Поэтому, вращая якорь съ нѣсколькими проводниками, должны будемъ отмѣтить тотъ фактъ, что не только ЗНА-

чение Э.Д.С. появившейся въ каждомъ проводникѣ различно въ любой моментъ, но что кромѣ этого Э.Д.С. появившаяся въ проводникахъ находящихся противъ сѣвернаго полюса противоположна по направленію Э.Д.С., появившейся въ проводникѣ противъ южнаго полюса.

92. Фигура 29 изображаетъ кривыя Э.Д.С. появившейся въ трехъ проводникахъ, а именно въ А, В и F. Мы выбрали эти три проводника, потому что два изъ нихъ, а именно А и В расположены рядомъ, а третій F діаметрально противоположенъ В. Въ



Фиг. 29.

данномъ случаѣ кривыя вмѣсто того, чтобы изображать время, изображаютъ углы вращенія, что является наиболее удобнымъ. При разсмотрѣннн этихъ кривыхъ, увидимъ, что разница между фазами Э.Д.С., появившихся въ проводникъ А и въ проводникъ В равна 45° . А разница между фазами Э.Д.С. появившейся въ проводникахъ В и Г равна 180° .

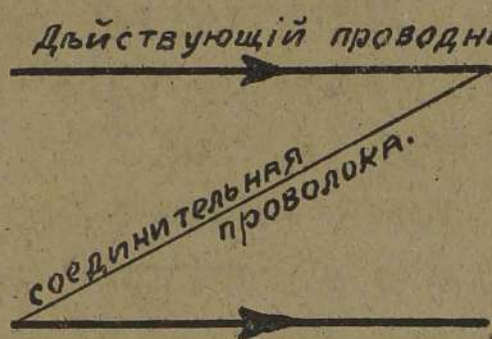
Глава семнадцатая.

Внутреннее соединеніе проводниковъ якоря.

93. Существуетъ два способа соединенія проводниковъ якоря, для того, чтобы получить максимальную Э.Д.С. Либо проводникъ долженъ быть соединенъ съ рядомъ лежащимъ проводникомъ, либо съ діаметрально противоположнымъ. Иначе говоря, какъ показано на фигурѣ 28, проводникъ „В“ долженъ быть соединенъ либо съ рядомъ лежащимъ проводникомъ (чьмъ въ этомъ случаѣ является А или С), либо онъ долженъ быть соединенъ съ проводникомъ діаметрально противоположнымъ ему (чьмъ въ этомъ случаѣ является проводникъ Г.) Тьмъ не меньше методъ соединенія будетъ различенъ въ обоихъ случаяхъ по слѣдующимъ причинамъ.

94. Если Э.Д.С. въ обоихъ проводникахъ, обозначенныхъ жирными линіями на фи-

гурь 30, дѣйствуетъ въ направленіи, указанномъ стрѣлками, то становится очевиднымъ, **для того чтобы получить суммированное ихъ, онѣ должны быть соединены по диагонали**, какъ то показано на чертежѣ.

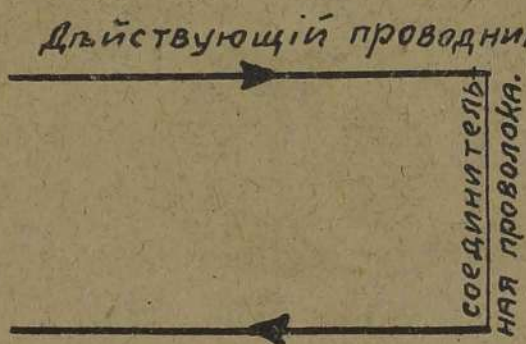


фиг. 30.

Подобнымъ же образомъ, если Э.Д.С. въ обоихъ проводникахъ дѣйствуетъ по направленію указанному на фигурѣ 31, тогда они должны быть соединены **по вертикали**, нанесенной

тонкой чертой.

Если же ихъ соединить иначе, то очевидно, что обѣ Э.Д.С. будутъ противоположны другъ другу и будутъ поэтому взаимоуничтожаться.



фиг. 31.

95. Если же мы примѣнимъ это правило для соединенія нѣсколькихъ проводниковъ якоря, то мы получимъ 2 различныхъ способа, указанныхъ на фигурахъ 32 и 33.

96. На фигурѣ 32 **противоположные проводники соединены вмѣстѣ**, и въ этомъ случаѣ, очевидно что относительныя направленія Э.Д.С.

таковы, какъ показано на фигурѣ 31.

Соединительныя провода должны быть проведены черезъ конецъ сердечника якоря.

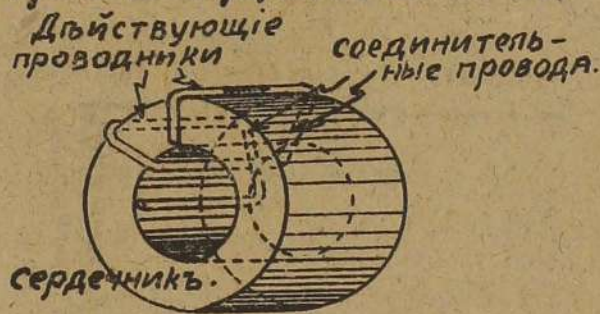
Такой якорь извѣстенъ подъ названіемъ якоря съ барабанной обмоткой.



фиг. 32.

97. На фигурѣ 33 рядомъ лежащія проводники соединены вмѣстѣ, и въ этомъ случаѣ очевидно, что относительныя направленія э.д.с. въ обоихъ проводникахъ будутъ таковы, какъ указано на фи-

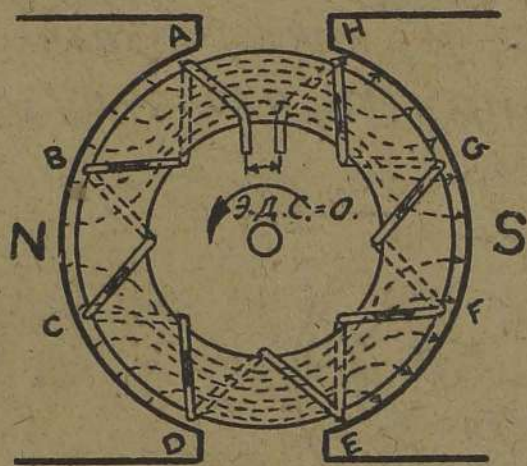
гурѣ 30 и что поэтому они должны быть соединены по діагонали; если бы соединеніе сдѣляли на передней сторонѣ якоря, то э.д.с. появилась бы въ соединительныхъ проводахъ и были бы направлены противъ э.д.с. двухъ другихъ проводниковъ, единственнымъ выходомъ изъ этого положенія является устройство сердечника якоря



фиг. 33.

въ видѣ желѣзнаго кольца, причемъ соединительныя провода должны проходить **ВНУТРИ** этого кольца, какъ показано на фигурѣ 33, въ то время какъ самъ проводникъ находится на внешней поверхности

этого кольца. Въ данномъ случаѣ э.д.с. не появится въ соединительныхъ проводахъ потому, что всѣ силовыя линіи будутъ проходить отъ сѣвернаго полюса магнита къ южному черезъ желѣзное кольцо, какъ показано на фигурѣ 34. Отсюда слѣдуетъ,



фиг. 34.

что только проводники, находящіеся на внешней сторонѣ кольца, будутъ пересѣкать магнитныя линіи. Такой якорь извѣстенъ подъ названіемъ „кольцевого якоря.“

98. Если будемъ послѣдовательно соеди-

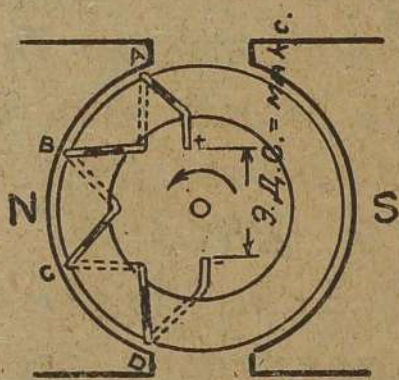
нить всѣ восемь проводниковъ кольцевого якоря, начиная съ проводника А и кончая проводникомъ Н, какъ показано на фигурѣ 34, то полученная э.д.с. будетъ равна нулю при всѣхъ положеніяхъ якоря, потому что, проходя мимо каждаго полюса якорь будетъ въ одно и то же время дѣлать равное число оборотовъ.

99. Это можетъ быть легко доказано при помощи кривой, изображающей э.д.с., показанной на фигурѣ 27, при чемъ должны будемъ прибавить къ ней всѣ моментальныя значенія э.д.с., полученные въ разныхъ проводникахъ при различныхъ положеніяхъ этихъ проводниковъ, имѣя

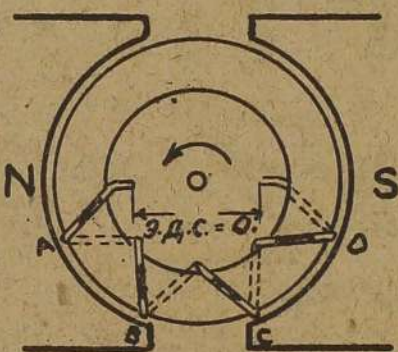
въ виду направленіе э.д.с., т.е. плюсь или минусь. Тогда будетъ выяснено что при вращеніи появится „положительная“ э.д.с. равная „отрицательной.“

Поэтому результатъ э.д.с. проходящей черезъ АН будетъ **ВСЕГДА** равенъ нулю.

100. Если же представимъ вращенію якоря половину окружности, какъ показано на фигурь 35, то увидимъ, что полу-



Фиг. 35.

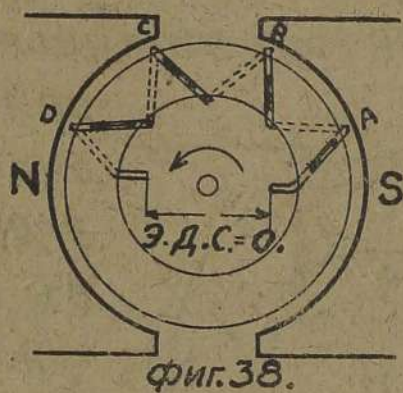
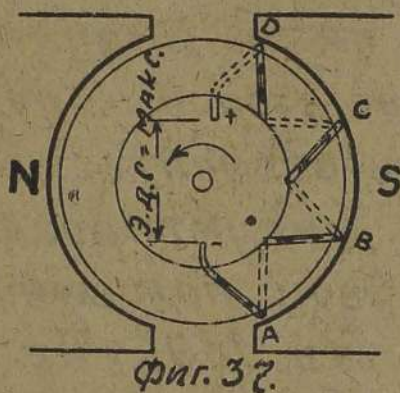


Фиг. 36.

ченная э.д.с. не будетъ равна нулю **ВО ВСЯХЪ ПОЛОЖЕНІЯХЪ** якоря.

Такъ наприкладь, если якорь находится въ положеніи, указанномъ на фигурь 35, то все проводники сьвернаго полюса и поэтому все э.д.с. отдельныхъ проводниковъ складываются вмѣстѣ; въ результатъ э.д.с. въ этомъ положеніи достигнетъ своего максимума. Если же, какъ показано на фигурь 36, два проводника якоря А и В будутъ находиться противъ сьвернаго полюса, а два другихъ С и D противъ южнаго полюса, то въ этомъ случаѣ полученная э.д.с. будетъ равна нулю.

101. Когда якорь находится въ положеніи, изображенномъ на фигурѣ 37, то полученная Э. Д. С. будетъ снова достигать своего максимума, потому, что всѣ проводники снова находятся противъ одного и того же полюса; но т.к. въ данномъ случаѣ они находятся и противъ южнаго полюса, то очевидно, что полученная Э. Д. С. будетъ направлена въ сторону противоположную той, которая была въ проводникахъ находившихся противъ сѣвернаго полюса, какъ показано на фигурѣ 35. Когда же якорь будетъ находиться въ положеніи, изо-

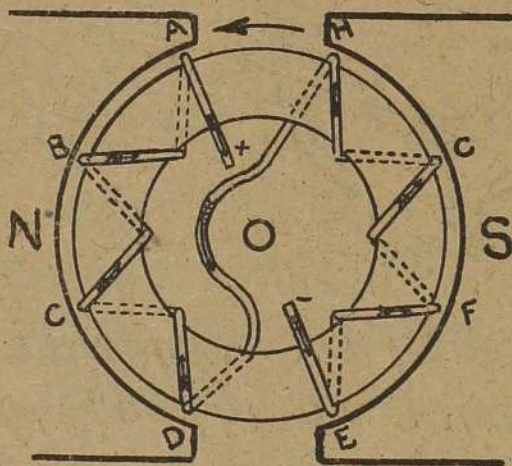


браженномъ на фигурѣ 38, то полученная Э. Д. С., снова будетъ равна нулю, потому что противъ сѣвернаго и южнаго полюса будетъ расположено равное количество проводниковъ.

102. Очевидно, поэтому, что когда такая катушка вращается въ магнитномъ полѣ, образованномъ 2 полюсами, то переменная Э. Д. С. будетъ индуцироваться на концахъ

проводника въ теченіи полнаго оборота якоря. Очевидно также, что волна этой э.д.с. будетъ подобна волнамъ отдѣльныхъ проводниковъ, но максимальное значеніе э.д.с., въ теченіи полнаго оборота, будетъ больше чѣмъ значеніе каждаго проводника въ отдѣльности и пропорціонально числу вращающихся проводниковъ.

103. Если расположимъ такой же рядъ проводниковъ и на второй половинѣ кольцевого якоря, какъ показано на фигурѣ 39, то въ нихъ также будетъ индуцироваться э.д.с. Но въ этомъ случаѣ электродвижущая сила индуцированная



фиг. 39.

во второй половинѣ будетъ отличаться отъ э.д.с. индуцированной въ первой половинѣ по фазѣ въ 180° . Т.е. иначе говоря, (см. фигуру 39) если конецъ А первой катушки положителенъ, въ зависимости отъ этого конецъ D отрицателенъ, въ какой нибудь

динамомашинѣ, то въ этотъ же моментъ конецъ E второй половины будетъ отрицательнымъ, а H положительнымъ.

104. Исходя отсюда, очевидно, что если мы соединимъ конецъ первой ка-

тушки съ противоположнымъ концомъ другой катушки, т. е. иначе говоря, какъ показано на фигурь 39, мы соединимъ D съ H, то увидимъ, что при соединеніи такимъ образомъ получаемая электродвижущая сила въ промежуткѣ АЕ равна суммѣ Э.Д.С., получаемыхъ при половинѣ оборота въ промежуткахъ АД и ЕН.

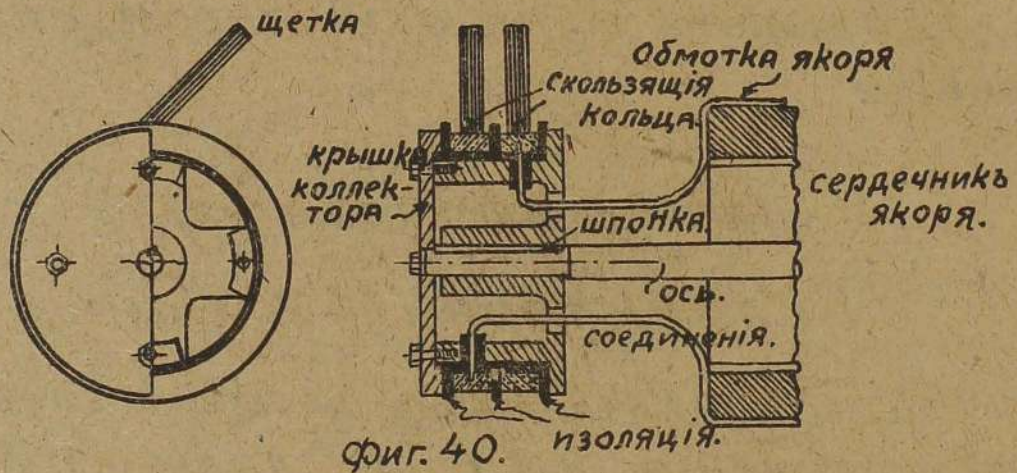
105. Якорь соединенный такимъ образомъ носить названіе „открытой обмотки якоря“, т. к. онъ имѣеть 2 свободныхъ конца. Эти свободные концы соединяются съ двумя „коя лекторными кольцами“ находящимися на оси якоря, описанной раньше.

Глава восемнадцатая.

Коллекторныя кольца.

106. Такъ какъ якорь долженъ служить для полученія Э.Д.С., то долженъ быть изображенъ способъ соединенія обмотокъ якоря съ любой внешней цѣпью. Обыкновенно это соединеніе выполняется при помощи такъ называемыхъ „коллекторныхъ колець“ и „щетокъ“. Два медныхъ кольца помѣщены на концахъ оси якоря и тщательно изолированы другъ отъ друга и отъ самой оси, какъ показано на фигурь 40. Эти кольца враща-

ются вмѣстѣ съ якоремъ, но такъ какъ они имѣютъ болѣе гладкую поверхность, то ихъ удобнѣе соединить съ какой нибудь определенной частью машины при помощи мѣдныхъ сътычатыхъ или угольныхъ щетокъ, легко касающихся поверхности колець. Одинъ конецъ обмотки якоря соединяется затѣмъ съ однимъ коллекторнымъ кольцомъ, а другой конецъ съ другимъ коллекторнымъ кольцомъ; въ то время какъ внѣшняя цѣпь съ которой требуется соединить динамомашину, соединена съ двумя щетками.

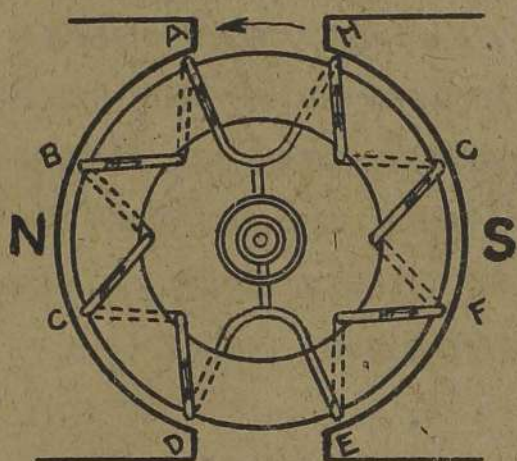


На чертежѣ коллекторныя кольца обыкновенно изображаются въ видѣ 2 концентрическихъ круговъ со щетками, касающимися ихъ поверхностей.

107. Возвращаясь снова къ фигурѣ 39, мы находимъ новый методъ соединенія обѣихъ катушекъ якоря. Вмѣсто того, чтобы соединять обѣ катушки

ПОСЛѢДОВАТЕЛЬНО, какъ было показано, соединимъ ихъ ПАРАЛЛЕЛЬНО, какъ показано на фигурѣ 41.

108. Въ этомъ случаѣ оба конца катушекъ А и Н, соединены съ однимъ коллекторнымъ кольцомъ, а другіе концы D и E обѣихъ катушекъ соединены съ другимъ коллекторнымъ колцомъ. Полученная при этомъ Э.Д.С. будетъ ТОЛЬКО РАВНА Э.Д.С. полученнымъ въ каждой катушкѣ отдѣльно и равняется только

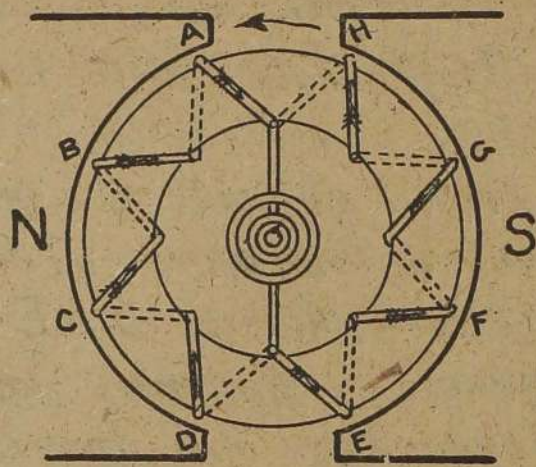


фиг. 41.

половинѣ Э.Д.С. полученной при послѣдовательномъ соединеніи, но т.к. въ послѣднемъ случаѣ токъ получаемый въ якорь не дѣлится между обѣими катушками, то отсюда слѣдуетъ, что въ машинѣ появляется толь-

ко половина вольтажа, а слѣдовательно можно въ 2 раза увеличить токъ, не перемѣщая проводниковъ. И такъ какъ мощность равна Э.Д.С. умноженной на токъ, то очевидно, что производительность машины будетъ одинакова, какъ при послѣдовательномъ такъ и при параллельномъ соединеніи.

109. Если посмотримъ на фигуру 41, то для насъ станетъ яснымъ, что параллельное соединеніе обмотки получается и тогда, когда мы сдѣлаемъ на якорь сплошную обмотку, какъ показано на фигурѣ 42, а



Фиг. 42.

соединительные провода къ коллекторнымъ кольцамъ возьмемъ отъ противоположныхъ точекъ этой обмотки; соединенія же съ коллекторными кольцами производятся какъ и раньше. Обмотка якоря, построенная такимъ образомъ, извѣстна подъ названіемъ „замкнутой обмотки якоря“.

Глава девятнадцатая.

Эффективныя значенія переменныхъ Э.Д.С.

190. Мы показали, что въ теченіи каждыаго періода, переменный токъ или переменная Э.Д.С. проходитъ рядъ значеній, измѣняющихся отъ нуля до извѣстной максимальной величины.

Мы должны ясно понять, что подразумѣвается подъ выраженіемъ „переменная Э.Д.С., имѣетъ столько то вольтъ“, или „переменный токъ, проходящій по цѣпи, имѣетъ столько то амперъ“. Но такъ какъ величина тока или Э.Д.С. постоянно из-

мѣняется, то необходимо дать ей какое нибудь среднее значеніе.

111. Поэтому принято давать переменному току значеніе постоянного тока, когда этот послѣдній производит одинаковое съ переменнымъ дѣйствіе въ цѣпи.

112. Если черезъ данное сопротивленіе пройдетъ переменный токъ, максимумъ котораго равенъ 4 амп., то нѣкоторая часть его будетъ поглощена сопротивленіемъ и превратится въ тепло. Если черезъ то же сопротивленіе пройдетъ постоянный токъ тоже равный 4 амп., то поглотится сопротивленіемъ и обратится въ тепло большее количество тока. Мы видимъ, что переменный токъ максимумъ котораго = 4 амп. произведетъ меньшій тепловой эффектъ чѣмъ постоянный, тоже = 4 амп. и при тѣхъ же условіяхъ. Переменный токъ будетъ выражень величиной постоянною, если онъ въ томъ же сопротивленіи дастъ тоже количество тепла.

113. Такимъ образомъ средняя эффективная величина будетъ значительно меньше максимальной величины полученной за весь періодъ, но отношеніе его къ максимальной величинѣ будетъ всегда постоянно.

Она извѣстна подъ названіемъ Средней квадратичной величины, вслѣдствіе того, что она получена какъ средняя квадратичная величина всѣхъ ор-

динать полного періода.

114. Можно доказать, что средняя квадратичная величина переменнаго тока, которая слѣдуетъ правильной синусоидальной кривой, равна $\frac{1}{\sqrt{2}}$ или 0,707 максимальной величины.

115. Всѣ измерительные приборы, какъ амперметры и вольтметры употребляемые при измереніи переменнаго тока въ цѣпи градуированы по средней квадратичной величинѣ или по эффективному значенію амперъ или вольтъ.

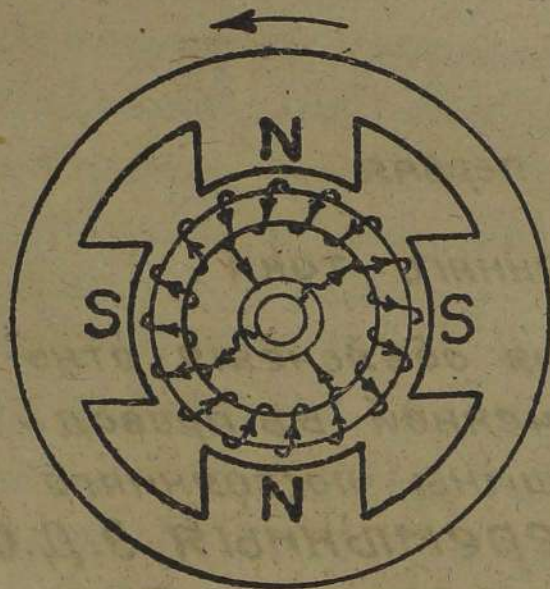
Глава двадцатая.

Опредѣленіе частоты альтернатора.

116. Мы объяснили вкратцѣ, какъ переменная Э. Д. С. индуцируется въ каждомъ проводникѣ якоря и какъ эти проводники соединяются вмѣстѣ, либо послѣдовательно, либо параллельно, производя такимъ образомъ Э. Д. С., тоже переменную, но имѣющую большую величину, зависящую отъ числа проводниковъ, которые мы соединили.

117. Въ томъ случаѣ, который мы уже разсматривали, мы имѣли поле, состоящее только изъ одной пары полюсовъ, одного сѣвернаго и другого южнаго. Показали какъ въ этомъ случаѣ, для того,

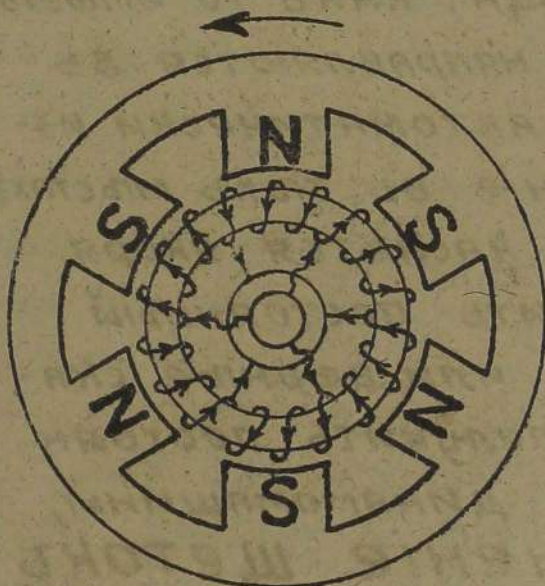
чтобы получить весь период для переменной Э.Д.С. необходимъ полный оборотъ якоря. Легко замѣтить, что симметричное распределе-
 ніе двухъ или нѣсколькихъ полюсовъ во-
 кругъ якоря, какъ показано на фигурахъ
 43 и 44 тоже дастъ полный периодъ въ



фиг. 43.

измѣненіяхъ Э.Д.С. для
 КАЖДОЙ ПАРЫ ПО-
 ЛЮСОВЪ, мимо кото-
 рыхъ проходятъ про-
 водники. Такъ напри-
 мѣръ, въ машинѣ, изо-
 браженной на фигурѣ
 43, одинъ оборотъ
 якоря дастъ 2 полныхъ
 периода переменной
 Э.Д.С., а въ машинѣ, изо-
 браженной на фигурѣ

44 одинъ оборотъ якоря дастъ три полныхъ
 периода переменной Э.Д.С.



фиг. 44.

118. Такимъ образомъ,
 если будемъ знать чис-
 ло парныхъ полюсовъ,
 которые имѣетъ маши-
 на, можемъ вычислить
 частоту этой машины,
 умножая скорость
 машины выражен-
 ную числомъ обо-
 ротовъ въ секун-
 ду на число паръ

ПОЛЮСОВЪ.

Примѣръ : Если четырехполюсная машина вращается со скоростью 1500 оборотовъ въ минуту, частота ея будетъ равна 2×25 , потому что она состоитъ изъ 2 паръ полюсовъ и вращается со скоростью 25 оборотовъ въ секунду.

Глава двадцать первая.

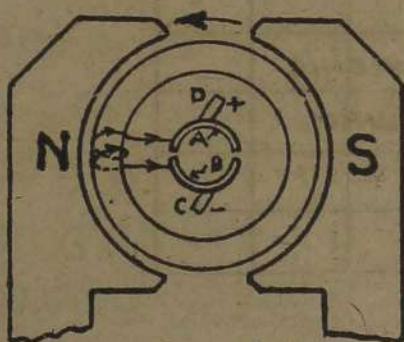
Динамомашинны постояннаго тока.

119. Всѣ вышеуказанныя объясненія относятся и къ Э.Д.С. полученной въ проводникахъ якоря динамомашинны постояннаго тока. Иначе говоря, **переменные Э.Д.С. возбуждаются въ самыхъ проводникахъ**, но какъ покажемъ позже, эти переменныя силы, вмѣсто того чтобы направиться прямо во вѣншнюю цѣпь черезъ коллекторныя кольца, какъ то имѣетъ мѣсто въ альтернаторѣ, направляются въ специальный аппаратъ, автоматически измѣняющій ея направленіе въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ **вѣншняя цѣпь** касается якоря.

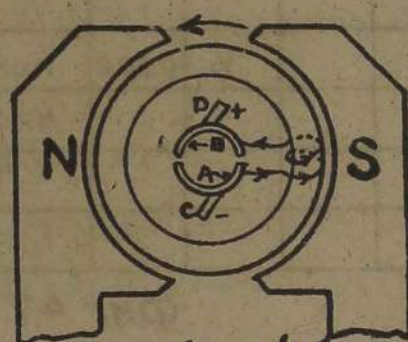
Для того, чтобы получить постоянный токъ во вѣншной цѣпи или вѣрнѣе сказать, для того чтобы получить постоянную Э.Д.С. на щеткахъ динамомашинны, **устроено соединеніе щетокъ динамомашинны съ катушками якоря**, въ то время ког-

ДА Э.Д.С. ИНДУКТИРУЕТСЯ
ВЪ КАТУШКѢ. Это устройство назы-
вается **КОММУТАТОРОМЪ** и его дѣйстви-
я описаны въ слѣдующихъ параграфахъ.

120. Возьмемъ самый простой случай
ординарной вращающейся катушки, какъ
показано на фигурѣ 45. Если оба конца
катушки, вмѣсто того, чтобы соединить
съ двумя коллекторными кольцами, соеди-
нимъ съ каждой половиной А и В РАЗ-
РЫЗАННАГО КОЛЬЦА ВРАЩАЮ-
ЩАГОСЯ ВМѢСТѢ СЪ ЯКОРЕМЪ и
если оба щетки С и D БУДУТЪ ЗА-
КРѢПЛЕНЫ въ указанныхъ положеніяхъ,
то очевидно, что въ то время когда ка-
тушка проходитъ мимо сѣвернаго полюса
магнита, половина кольца А будетъ находи-
ться въ контактѣ съ щеткой D, а половина коль-
ца В съ щеткой С, а равно, когда катуш-
ка проходитъ мимо южнаго полюса маг-
нита, А будетъ въ контактѣ съ С, а В съ D,
какъ показано на фигурѣ 46. Намѣтивъ
направленія полученной Э.Д.С., увидимъ,
что въ то время когда катушка прохо-



фиг. 45.

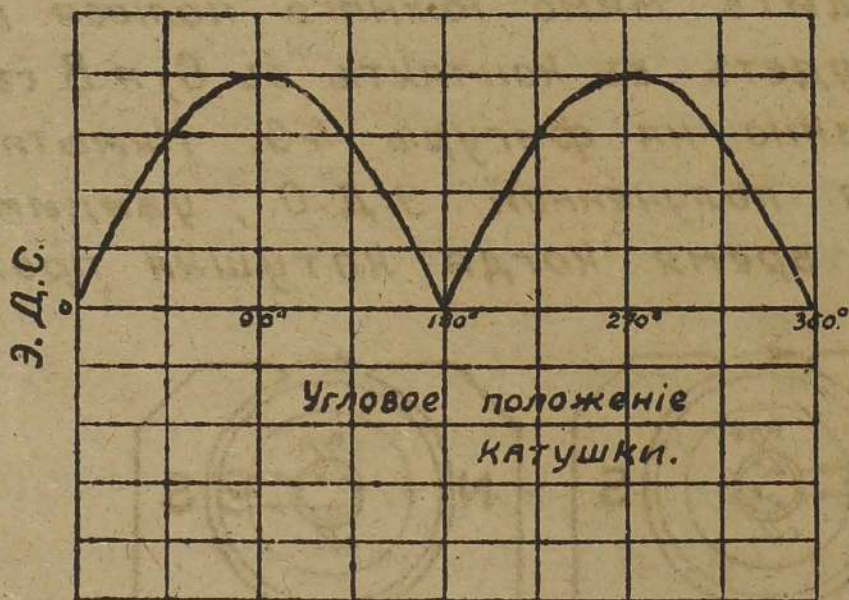


фиг. 46.

дуть мимо сѣвернаго полюса, половина кольца А будетъ положительна, а В будетъ отрицательна. Когда же катушка проходитъ мимо южнаго полюса А будетъ отрицательна, а В положительна.

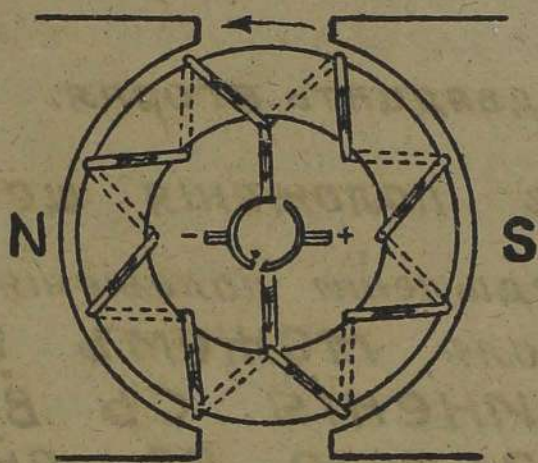
121. Отсюда слѣдуетъ, изъ условій описанныхъ выше, что щетка D будетъ ВСЕГДА въ контактъ съ положительной половиной кольца, а щетка С съ отрицательной половиной кольца

122. Такъ какъ волна Э.Д.С. полученной въ двигающихся проводникахъ катушки, принимаетъ форму изображенную на фигурѣ 27, то очевидно, что кривая, изображающая значеніе Э.Д.С. на щеткахъ, приметъ форму, показанную на фигурѣ 47.



Фиг. 47.

123. Тотъ же самый принципъ можетъ быть примененъ и къ якорю, съ нѣкоторымъ числомъ проводниковъ, образующихъ замкнутую цепь и вращающуюся подобно описанной въ параграфѣ 108. Въ этомъ случаѣ соединенія съ коммутаторомъ будутъ таковы, какъ показано на фигурѣ 48, а полученная на щеткахъ Э.Д.С. снова приметъ форму, изображенную на фигурѣ 47, причемъ максимальная величина Э.Д.С. будетъ пропорціонально выше.



фиг. 48.

124. Въ этихъ случаяхъ получимъ на щеткахъ Э.Д.С. направленную въ одну сторону, но не можемъ назвать ее „постоянной“, такъ какъ она непрерывно мѣняется отъ нуля до своего максимальнаго значенія и затѣмъ снова падаетъ до нуля. Поэтому лучше назовемъ ее импульсами Э.Д.С.

125. Если же вмѣсто того, чтобы брать только 2 соединенія вращающагося якоря, возьмемъ четыре рас-

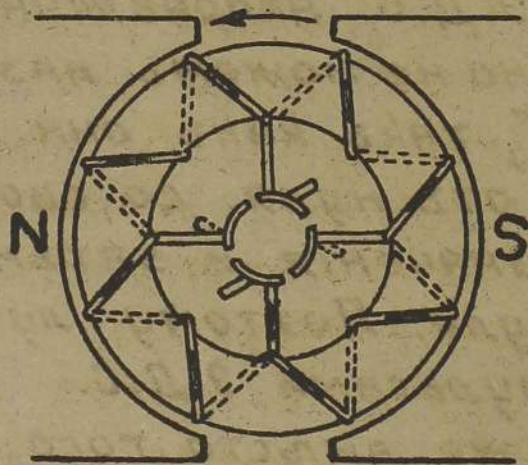
положенныхъ на равныхъ разстояніяхъ и соединимъ каждый изъ нихъ съ сегментомъ коммутатора, состоящаго изъ четырехъ частей, какъ показано на фигурѣ 49, получимъ на щеткахъ четыре импульса Э.Д.С., направленныхъ въ одну и ту же сторону при каждомъ оборотѣ якоря. Въ данномъ случаѣ каждый импульсъ будетъ изображать $\frac{1}{4}$ періода и т.к. вращеніе якоря равномерно, то импульсы будутъ совершенно равны между собой.

Глава двадцать вторая.

Опредѣленіе положенія щетокъ.

126. При опредѣленіи положенія щетокъ относительно поля, можемъ устраивать соединенія съ вращающейся частью въ любыхъ точкахъ кривой Э.Д.С.

Такъ на фигурѣ 49 щетки находятся въ



фиг. 49.

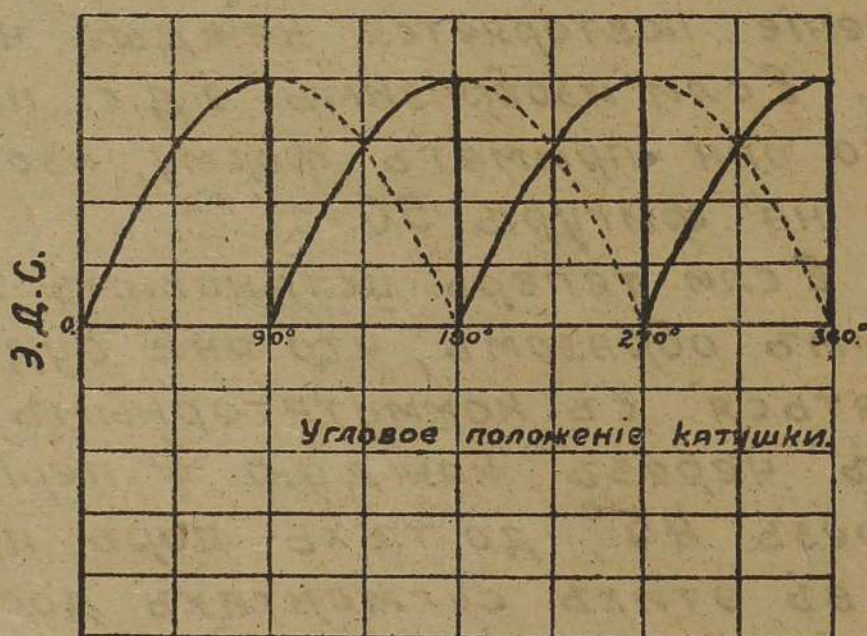
положеніи, обозначенномъ пунктиромъ и соединеніе съ вращающимся якоремъ будетъ происходить въ то время, когда Э.Д.С. будетъ равна нулю, и т.к. щетка будетъ находиться въ контактъ съ коммутаторнымъ сегментомъ въ теченіи четвертаго періода, то отсюда слѣдуетъ, что въ теченіи этого времени Э.Д.С. якоря, а слѣдовательно и Э.Д.С. на щеткахъ достигнетъ своей максимальной величины. Въ то время когда она достигнетъ своей максимальной величины, т.е. иначе говоря въ то время, когда она проходитъ черезъ четверть періода, т.е. 90° , коммутаторные сегменты сходятъ съ своихъ мѣстъ и замѣняются новыми. Эти сегменты тѣмъ не менѣе соединяются съ вращающимся якоремъ черезъ каждые 90° , при чемъ вначалѣ контакта они равны нулю. Это явленіе повторяется каждые четверть періода. Если изобразимъ Э.Д.С. на щеткахъ, то она приметъ форму, изображенную на фигурѣ 50.

127. Если теперь установимъ щетки такимъ образомъ, что они будутъ соединяться съ коммутаторнымъ сегментомъ черезъ каждую $\frac{1}{8}$ періода, т.е. черезъ 45° , до тѣхъ поръ пока Э.Д.С. въ этихъ сегментахъ достигаетъ своей максимальной величины,

какъ изображено жирными линиями на фигурѣ 49, то очевидно, что кривая, изображающая э.д.с. на щеткахъ, приметъ форму, показанную на фигурѣ 51.

128. Замѣтимъ, что въ этомъ случаѣ мы получимъ результатъ, гораздо болѣе близкій къ постоянной э.д.с. на щеткахъ, чѣмъ въ случаѣ коммутатора состоящаго изъ двухъ частей, какъ было показано на фигурѣ 47 и очевидно что при дальнѣйшемъ возрастаніи числа коммутаторныхъ сегментовъ, можемъ достигнуть того, что э.д.с. приходящая черезъ щетки, станетъ совершенно равномерной и постоянной.

Должны будемъ отмѣтить здѣсь нѣкоторый пунктъ, касающійся опредѣленія положенія щетокъ.



Фиг. 50.

129. Посмотрѣвъ на кривыя изображенныя на фигурѣ 50, увидимъ что въ той точкѣ, гдѣ щетка оставляетъ одинъ сегментъ и вступаетъ въ контактъ съ другимъ, э.д.с. въ одномъ сегментѣ достигнетъ своей максимальной величины, а въ другомъ равняется нулю.

130. Это явленіе повлечетъ за собой сильную искру на щеткахъ, въ особенности, если токъ находится внѣ якоря. Это положеніе щетокъ рѣдко встрѣчается, но можемъ замѣтить то же явленіе, но на меньшемъ протяженіи при всякомъ неправильномъ положеніи щетокъ

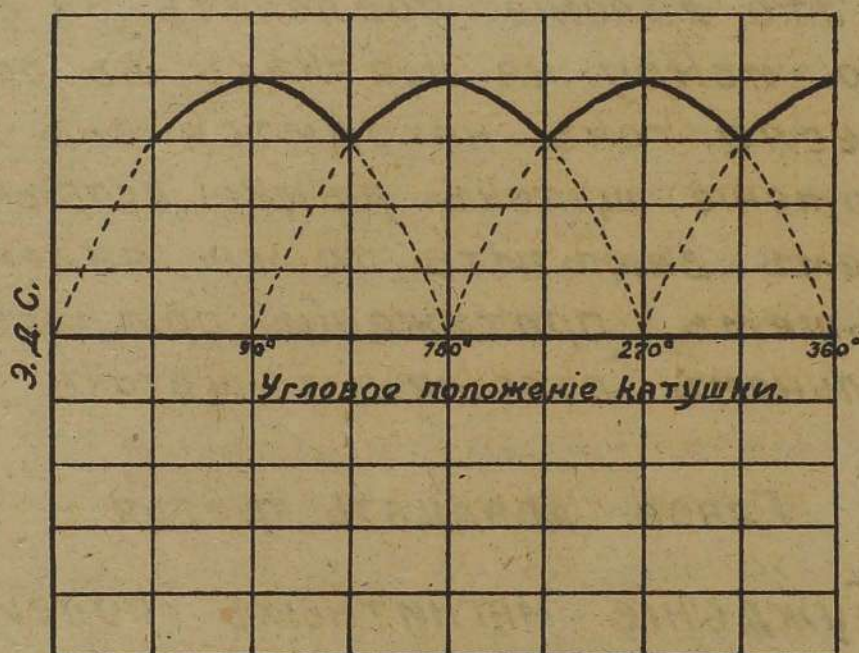
Глава двадцать третья

Возбужденіе магнитныхъ полей Динамомашинъ.

131. Для полученія магнитнаго поля въ динамомашинѣ, употребляются постоянныя магниты, которые устанавливаются такимъ образомъ, чтобы они могли производить магнитный потокъ, проходящій черезъ полюса.

За исключеніемъ спеціальныхъ машинъ, постоянныя магниты употребляются рѣдко: во первыхъ потому, что получается слишкомъ слабый магнитный потокъ и требуется большое количество стали для полученія потока достаточной

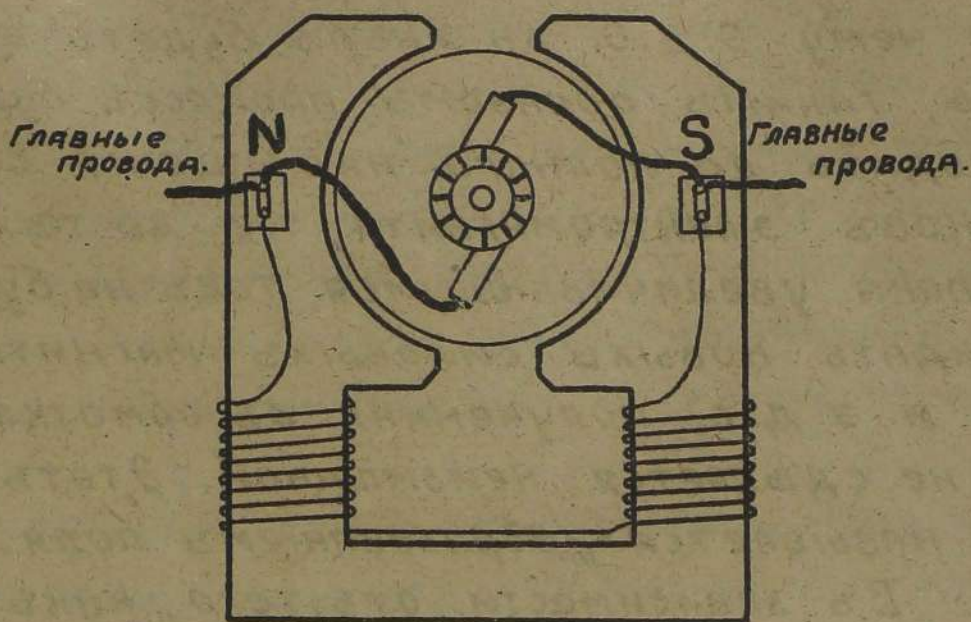
силы; во вторыхъ, токъ получаемый въ якорь стремится размагнитить полюса, вслѣдствіе реакціи, въ третьихъ они не экономичны. Поэтому для полученія поля въ динамомашинѣ употребляются электромагниты, черезъ которые пропускаютъ часть тока, полученнаго въ якорь.



фиг. 51.

132. Это легко выполняется посредством наматыванія на желѣзные сердечники большаго числа оборотовъ сравнительно тонкой проволоки. Соединяютъ полученныя такимъ образомъ катушки со щетками якоря, какъ графически изображено на фигурѣ 52.

При такомъ устройствѣ въ началѣ работы динамомашины въ полюсахъ электромагнитовъ не будетъ магнетизма, а слѣдовательно не будетъ и тока въ машинѣ, поэтому



фиг. 52.

чтобы получить магнетизмъ, необходимо пропустить черезъ катушки токъ отъ какого нибудь посторонняго источника.

133. Въ дѣйствительности это бываетъ необходимо только въ машинахъ, работающих первый разъ, но если полюса были уже намагничены, то желѣзо сердечника благодаря гистерезису будетъ удерживать небольшое количество магнетизма, послѣ того какъ токъ перестанетъ проходить черезъ катушки.

134. Благодаря этому, когда машина работает во второй разъ, то въ обмотку якоря появится незначительная Э.Д.С., вначалѣ достаточная однако для того, чтобы создать незначительный токъ, который частью будетъ проходить черезъ электромагнитныя катушки. Это повлечетъ за собой увеличе-

ніе количества магнетизма въ желѣзѣ, благодаря чему Э. Д. С. въ якорь будетъ возрастать, такимъ образомъ процессъ будетъ происходить до полного насыщенія сердечниковъ электромагнита, т. е. до тѣхъ поръ пока увеличивающійся токъ не будетъ возбуждать новыхъ силовыхъ магнитныхъ линій и Э. Д. С. полученная въ обмоткѣ якоря не сдѣлается неизмѣнной. Этотъ процессъ называется „образованіемъ поля“.

135. Въ зависимости отъ того, какъ динамомашина образуетъ свое поле, такъ и магнитная сила, полученная въ обмоткѣ электромагнита должна индуцировать силовыя линіи поля въ томъ же самомъ направленіи какъ и остаточный магнетизмъ.

136. Очевидно, что остаточный магнетизмъ въ желѣзѣ очень незначителенъ въ сравненіи съ нормальнымъ магнетизмомъ возбужденнаго поля, благодаря чему и Э. Д. С., появившаяся въ обмоткѣ якоря, очень незначительна вначалѣ процесса. Далѣе, благодаря гистерезису желѣза, до возникновенія въ сердечникахъ электромагнитовъ магнитныхъ линій, въ обмоткѣ этихъ электромагнитовъ въ началѣ дѣйствія динамомашины долженъ проходить нѣкоторый минимальный токъ. Часто случается, что

благодаря неплотному прижатію щетокъ къ коммутатору уменьшается токъ, проходящій черезъ электромагнитныя катушки.

137. Если этотъ уменьшенный токъ меньше минимума необходимаго для преодоленія гистерезиса желѣза, то очевидно, что число магнитныхъ линій не будетъ возрастать и динамомашина не создастъ своего поля.

138. Неплотное прижатіе щетокъ къ коммутатору зависитъ: 1) когда щетки прикрѣплены къ своимъ щеткодержателямъ, которые мѣшаютъ имъ соединиться съ коммутаторомъ; 2) когда мѣдные бруски изношеннаго коммутатора, сходя съ изолировки, между коммутаторными брусками (которые иногда еще тверже мѣдныхъ) слегка подпрыгиваютъ надъ поверхностью коммутатора; 3) когда коммутаторъ загрязненъ или засаженъ.

139. Въ случаѣ альтернаторовъ, очевидно, что обмотка магнита не можетъ быть соединена съ коллекторными кольцами потому, что мы получили переменную Э.Д.С., которая будетъ то содѣйствовать, то разрушать остаточный магнетизмъ.

140. Тѣмъ не меньше можно взять на соответствующихъ точкахъ обмотки вращающагося якоря отвѣтвленія и соединить ихъ съ брусками коммутатора, находящагося позади коллекторныхъ колець,

а обмотки якоря соединить съ щетками коммутатора. На практикѣ такой способъ возбужденія альтернатора часто употребляется.

141. Другой способъ, тоже часто употребляемый, заключается въ слѣдующемъ: берутъ совершенно отдѣльную обмотку и прокладываютъ ее въ тѣхъ же самыхъ пазахъ якоря, по которымъ проложены обмотки переменнаго тока. Соединеніе ея со щетками производится обыкновеннымъ образомъ. Этотъ способъ имѣетъ то преимущество, что онъ даетъ возможность получать въ машинѣ постоянный токъ какого угодно вольтажа, совершенно независимо отъ вольтажа обмотки переменнаго тока, такимъ образомъ кромѣ питанія обмотки электромагнитныхъ катушекъ, токъ можетъ быть использованъ на зарядку аккумуляторовъ и на другія спеціальныя надобности.

Глава двадцать четвертая.

Токи Фуко.

142. Мы уже говорили о томъ, что проводники утапливаются въ желѣзъ сердечника якоря для того, чтобы сократить воздушный промежутокъ въ магнитной цѣпи динамомашинъ. Такъ какъ желѣзо тоже проводникъ электричества и т. к. оно пересѣкаетъ магнитныя силовыя линіи, произ-



фиг. 53.

веденныя магнитомъ, то въ результатъ въ желѣзномъ корпусѣ якоря получается Э.Д.С., которая является причиной появленія токовъ, постоянно циркулирующихъ въ металлѣ. Такіе токи носятъ названіе **ТОКОВЪ ФУКО** и такъ какъ они не могутъ быть использованы, то они представляютъ изъ себя нѣкоторую потерю энергии, и кромѣ того они нагрѣваютъ желѣзо сердечника якоря, уменьшая такимъ образомъ скорость вращенія машины. Поэтому нужно всегда стараться привести ихъ къ минимуму. Направленіе этихъ токовъ можетъ быть найдено при помощи правила, изображеннаго на фигурѣ 53, т.е. будетъ расположено вокругъ сердечника подъ прямымъ угломъ къ силовымъ линіямъ.

143. Чтобы избавиться отъ этихъ токовъ, сердечникъ якоря дѣлается изъ большого числа круглыхъ тонкихъ пластинъ, раздѣленныхъ другъ отъ друга листами тонкой лакированной бумаги. Эти

пластины надѣты на ось якоря и стянуты болтами какъ показано на фигуру 54.



Мы увидимъ, что листы бумаги благодаря своей непроводимости представляютъ большое сопротивленіе токамъ, стремящимся проходить по желѣзу сердечника въ направленіяхъ, указанныхъ на фигуру 53. Въ тоже самое время они не увеличиваютъ сопротивленіе магнитной цѣпи, т.к. силовыя линіи могутъ свободно проходить по каждой пластинкѣ сердечника якоря, не проходя черезъ бумагу.

144. Для большей простоты мы разсматривали только простѣйшія формы динамомашинъ, имѣющей простѣйшую обмотку, но существуетъ много различныхъ методовъ выполненія обмотки, и соединенія катушекъ якоря и магнитныхъ катушекъ, которые являются предметомъ спеціальнаго изученія, цѣль котораго: экономическое производство машинъ, увеличеніе ихъ производительности, уменьшеніе ихъ вѣса и т. п.

145. Вслѣдствіе того, что чертежъ изображающей соединенія кольцевого якоря гораздо проще чѣмъ чертежъ изображающей соединенія барабаннаго якоря, мы будемъ разсматривать въ этомъ параграфѣ вышеприведенный типъ машины.

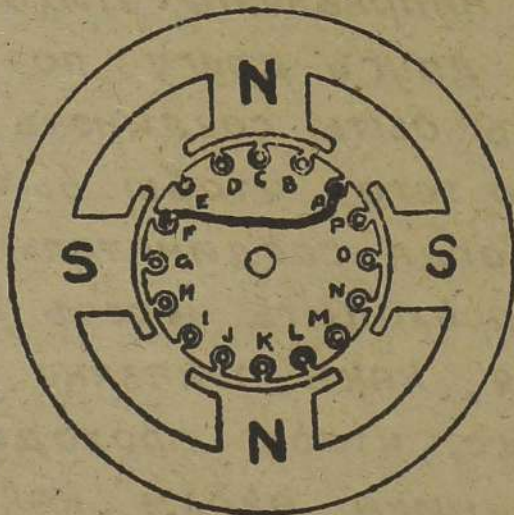
Въ § 96 мы уже видѣли, что противоположные проводники обмотки якоря черезъ конецъ сердечника якоря могутъ быть соединены вмѣстѣ, причемъ получится тотъ же результатъ. Мы указываемъ также, что обмотка якоря, соединенная такимъ образомъ, называется барабанной обмоткой якоря.

146. Эти различія методовъ соединенія нѣсколькихъ проводниковъ являются лишь деталями построенія и совсѣмъ не измѣняютъ теорію дѣйствій динамомашинъ. Такъ на примѣръ, въ случаѣ машины изображенной на фигурѣ 28, мы знаемъ, что Э.Д.С., полученная въ проводникѣ В, находится всегда въ одинаковой фазѣ съ Э.Д.С. полученной въ проводникѣ F, только направленіе этихъ двухъ силъ противоположно другъ другу; поэтому проводникъ А можетъ быть соединенъ съ проводникомъ F, вмѣсто того, чтобы быть соединеннымъ съ В. Тогда соединительный проводникъ будетъ проходить черезъ конецъ сердечника якоря, какъ показано на фигурѣ 32 (вмѣсто того, чтобы проходить черезъ центръ сердечника якоря, какъ показано на фигурѣ 33). Такимъ образомъ вмѣсто

кольцевой получается барабанная обмотка якоря.

147. Если мы возьмем случай многополюсной машины, изображенный на фигуре 55, то проводник А может быть соединенъ либо съ проводникомъ В, тогда обмотка приметъ форму кольцевой обмотки якоря, либо съ проводникомъ Г, причемъ въ этомъ случаѣ соединительный проводникъ будетъ проходить черезъ конецъ сердечника якоря, какъ показано на диаграммѣ и образуетъ такимъ образомъ барабанную обмотку якоря.

148. На практикѣ кольцевой обмоткой якоря пользуются очень рѣдко, потому что при другомъ методѣ требуются болѣе короткіе соединительные проводники, при этомъ увеличивается практическое дѣйствіе машины, упрощивается процессъ обмотки благодаря тому, что проводникамъ не нужно проходить



фиг. 55.

сквозь сердечникъ якоря, какъ это требуется въ случаѣ кольцевой обмотки.

Глава двадцать пятая.

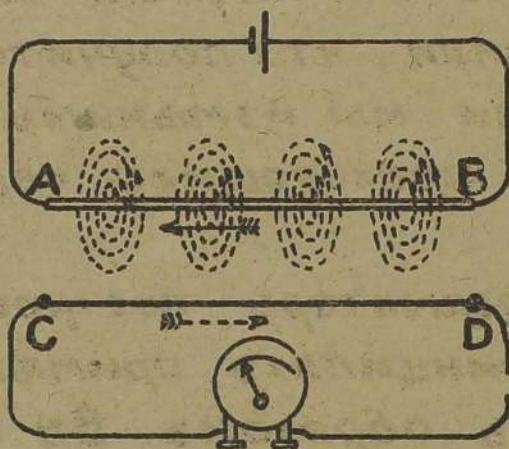
Теорія трансформатора.

149. Разсматривая теорію динамомашинъ, мы исходимъ изъ той точки зрѣнія, что э. д. с. индуктируется въ проводникахъ катушки въ тотъ моментъ, когда эти послѣдніе пересѣкаютъ магнитныя силовыя линіи и мы доказали, что получится тотъ же результатъ, если мы измѣнимъ число силовыхъ линій проходящихъ черезъ катушку.

150. Трансформаторъ построенъ на тѣхъ же самыхъ принципахъ, примененныхъ только другимъ образомъ. Въ случаѣ динамомашины результаты, которые мы получали, происходили оттого, что проводникъ пересѣкалъ магнитныя силовыя линіи, возбужденныя постояннымъ магнитомъ. Въ случаѣ трансформатора результаты, которые мы будемъ разсматривать, получаются такимъ образомъ. Одинъ проводникъ, который называется первичнымъ, помещается вблизи другого, вторичнаго такъ, чтобы магнитныя силовыя линіи возбужденныя токомъ, направляющимся въ первичный проводникъ, пересѣкали бы вторичный проводникъ.

151. Если токъ долженъ проходить черезъ проводникъ AB , который мы можемъ назвать первичнымъ, какъ показано на фигурѣ 56, то тогда вокругъ проводника образуется магнитное поле, какъ изображено пунктиромъ.

152. Отсюда слѣдуетъ, что если мы будемъ приближать второй проводникъ CD , который мы можемъ назвать вторичнымъ, къ проводнику AB , то онъ неминуемо пересѣчетъ силовыя линіи, индуктированныя



Фиг. 56.

токомъ, проходящимъ черезъ первичный проводникъ. Такимъ образомъ Э. Д. С. будетъ индуктирована во вторичномъ проводникѣ, при чемъ если мы соединимъ его концы вмѣстѣ, въ видѣ цѣпи называемой вторичной, то въ ней появится токъ. Примѣняя правило, объясненное въ § 59, мы увидимъ, что **направленіе вторичнаго тока противоположно направленію тока первичнаго.**

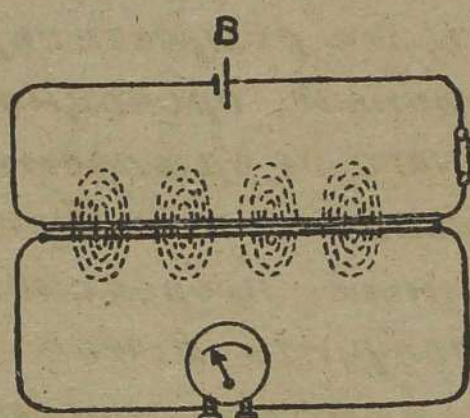
153. Если же токъ въ первичномъ провод-

никъ не постоянень, то нѣтъ необходимости передвигать второй проводникъ потому, что мы можемъ получить тотъ же результатъ, если мы замкнутый вторичный проводникъ помѣстимъ вблизи первичнаго и сдѣлаемъ такъ, что магнитныя силовыя линіи будутъ пересѣкать вторичный проводникъ.

154. Для того, чтобы получить ясное представленіе объ этомъ явленіи, мысленно создадимъ себѣ картину образованія магнитнаго поля. Когда электрической токъ проходитъ черезъ проводникъ, силовыя линіи не появляются сразу вокругъ проводника, а онѣ какъ бы исходятъ изъ проводника и съ быстротой свѣта распространяются къ границамъ поля наподобіе того, какъ кругъ ряби распространяется вокругъ камня, брошеннаго въ воду. Тамъ не меньше между этими двумя явленіями есть существенная разница: силовыя линіи проходятъ определенное разстояніе, а затѣмъ останавливаются; если же производящій ихъ токъ прекращень, то они возвращаются въ свою исходную точку.

155. Разсмотрѣвъ элементарно образованіе магнитнаго поля, мы сможемъ легко прослѣдить явленіе, которое произойдетъ, если мы помѣстимъ первичный и вторичный проводники другъ около друга, какъ показано на фѣигурѣ 57 и соединимъ первичный проводникъ съ батареей

В через замыкатель S ; затемъ, если мы сразу зам-



Фиг. 57.

кнемъ токъ, то силовыя ли-
нїи будутъ индукированы
и большинство изъ нихъ, за-
нимая свое положеніе, пере-
сѣкутъ вторичный провод-
никъ, какъ показано на фи-
гурѣ 57.

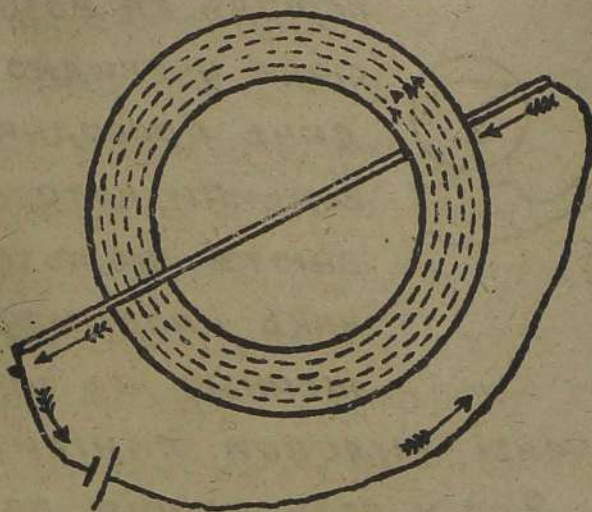
156. Такимъ образомъ эти
линіи пересѣкутъ вторич-
ный проводникъ подъ пря-

мымъ угломъ, поэтому, применяя правило объ-
ясненное въ § 59, во вторичномъ проводникѣ бу-
детъ индукироваться Э. Д. С., благодаря которой,
если мы замкнемъ вторичный проводникъ, появит-
ся токъ, направленіе котораго будетъ об-
ратно направленію первичнаго тока.

157. Магнитныя силовыя лініи, такъ же какъ и
электрическій токъ, будутъ выбирать путь съ наи-
меньшимъ сопротивленіемъ, поэтому если мы по
пути прохожденія силовыхъ ліній индукирован-
нымъ токомъ, проходящимъ черезъ проводникъ,
расположимъ кусокъ желѣза, то большинство этихъ
ліній устремится на этотъ путь, потому что маг-
нитное сопротивленіе желѣза въ нѣсколько сотъ
разъ меньше сопротивленія воздуха.

158. Возьмемъ случай одиночнаго проводни-
ка, окруженнаго желѣзнымъ кольцомъ, какъ пока-
зано на фигурѣ 58. Силовыя лініи, индукиро-
ванныя токомъ, проходящимъ черезъ этотъ про-
водникъ, не будутъ расположены вокругъ провод-

ника, какъ показано на фигурь 56 и 57, но онѣ



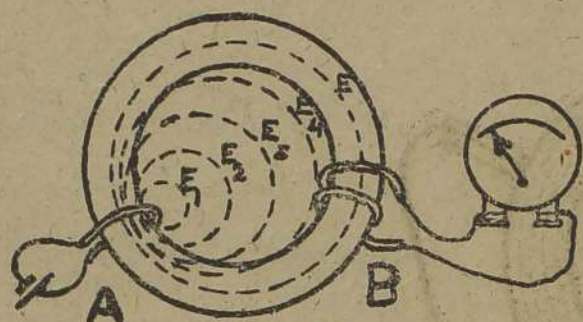
Фиг. 58.

будутъ собраны вмѣстѣ въ желѣзное кольцо, какъ показано пунктиромъ на чертежѣ. Въ этомъ явленіи мы должны отмѣтить одинъ важный пунктъ: прежде чѣмъ занять свое положеніе въ желѣзномъ кольцѣ, силовыя линіи проходятъ черезъ воздушный промежутокъ между проводникомъ и кольцомъ, это происходитъ оттого, что какъ было указано выше, они всѣ исходятъ изъ проводника.

159. Для примѣра возьмемъ одиночную обмотку проволоки намотанную на желѣзное кольцо, какъ показано на фигурь 59, черезъ точку A проходитъ токъ, достаточный для того, чтобы возбудить одиночную силовую линію; эта силовая линія будетъ цѣликомъ находится въ желѣзномъ кольцѣ, какъ показано пунктиромъ на чертежѣ, но до тѣхъ поръ пока она займетъ это положеніе, они должны постепенно разрастаться, выходя изъ проводника. Линіи E_1, E_2, E_3

и E_4 иллюстрируют положенія занимаемая посте-

пенно силовой линіей въ периодъ ея возрастанія; отсюда очевидно, что ни одинъ проводникъ или проводники, которые охватываютъ желъзное кольцо, какъ напримѣръ изображенные въ точкѣ В не



Фиг. 59.

будутъ пересѣчены силовой линіей во время ея разрастанія. Это и есть теорія взаимной индукціи, на основаніи которой построены трансформаторъ и мы покажемъ въ слѣдующихъ параграфахъ, какимъ образомъ эта теорія применяется на практикѣ и будемъ обсуждать нѣкоторые полученные результаты.

160. Въ параграфѣ 155 мы показали, что когда первичный проводникъ замыкается, то во вторичномъ проводникѣ индуктируется Э.Д.С. Маленькое объясненіе покажетъ намъ, что въ этомъ случаѣ полученная Э.Д.С. лишь мгновенна, т.к. она существуетъ лишь въ моментъ пересѣченія проводника силовыми линіями, т.е. иначе говоря, лишь въ моментъ образованія магнитнаго поля. По этой причинѣ, если мы сохранимъ токъ въ первичномъ проводникѣ, то во вторичномъ проводникѣ у насъ ничего не получится кромѣ появленія перваго мгновеннаго напряженія.

161. Если же токъ первичнаго проводника будетъ возрастать, то число силовыхъ линій расположенныхъ вокругъ проводника, будетъ

увеличиваться и поэтому будет индуктировано во вторичномъ проводникъ во второй разъ мгновенное напряженіе.

162. Подобно этому если токъ въ первичномъ проводникъ будетъ уменьшенъ или прерванъ, то число силовыхъ линій будетъ уменьшаться и переходить обратно въ первичный проводникъ (см. § 154), въ результатъ чего силовыя линіи снова пересъкутъ вторичный проводникъ, но на этотъ разъ **ВЪ ПРОТИВОПОЛОЖНОМЪ НАПРАВЛЕНІИ**. Поэтому мгновенное напряженіе будетъ снова индуктировано во вторичномъ проводникъ, но на этотъ разъ оно будетъ стремиться создать токъ обратнаго направленія.

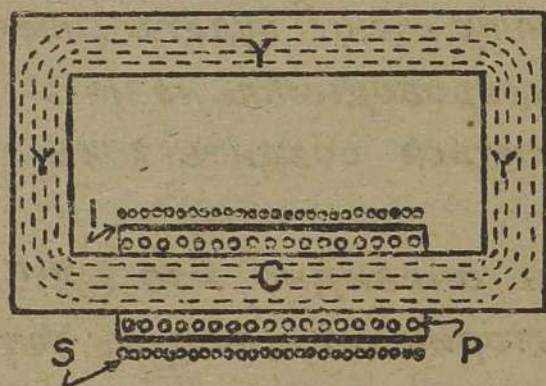
163. Изъ этихъ опытовъ очевидно, что Э.Д.С. будетъ индуктирована во вторичной цѣпи въ томъ случаѣ, когда происходитъ измѣненіе первичнаго тока или когда происходитъ измѣненіе въ магнитномъ полѣ, образованномъ первичнымъ токомъ.

164. Въ случаѣ индукціонной катушки, которая является лишь спеціальной формой трансформатора, это измѣненіе происходитъ благодаря быстрому соединенію и разъединенію первичной цѣпи, который въ свою очередь индуктируетъ пульсирующую Э.Д.С. во вторичной цѣпи.

165. Въ случаѣ трансформатора измѣненіе магнитнаго поля происходитъ благодаря движенію переменнаго тока по первичному проводнику, который индуктируетъ пе-

ременную Э.Д.С. во вторичном проводнике, причем если мы замкнем вторичный проводник в цепи, то получим переменный ток во вторичной цепи.

166. Мы уже объяснили, что пересечение проводником магнитных линий дает тот же результат, что и изменение числа силовых линий проходящих через цепь, часть которой составляет этот проводник.



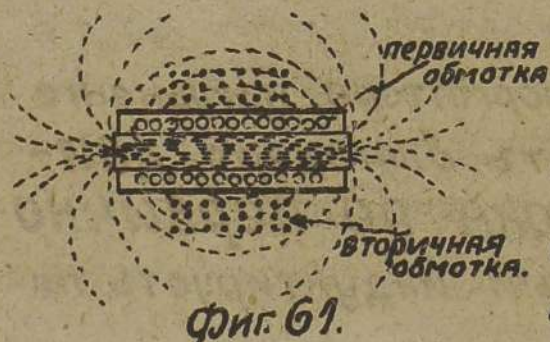
фиг. 60.

При разсматривании динамомшины легче исходить из предыдущей точки зрѣнія; при разсматривании же трансформатора, легче исходить из другой точки зрѣнія, а именно, что Э.Д.С. индуцируется в обмотку при изменении

числа силовых линий, проходящих через эту обмотку.

167. Трансформатор тогда состоит из первичной и вторичной обмотки сближенных вместе, но вполне изолированных друг от друга. Эти обмотки окружают желѣзный сердечник, состоящий из большого числа тонких желѣзных пластин,

отдѣленных друг от друга листами лакированной бумаги, уничтожающей токи Фуко. Такой трансформатор изображенъ на фигурѣ 60, гдѣ Р есть первичная обмотка, а



фиг. 61.

S - вторичная, I - изоляція между первичной и вторичной обмоткой, C - желѣзный сердечникъ, который соединяясь съ другими частями желѣза $УУ$, образуетъ обратный путь для магнитныхъ силовыхъ линій (обозначенныхъ пунктиромъ). Этотъ путь обладаетъ меньшимъ сопротивленіемъ чѣмъ воздушное пространство.

На практикѣ, при такомъ устройствѣ всѣ магнитныя силовыя линіи образовавшіеся въ одной катушкѣ проходятъ черезъ другую, въ то время какъ при устройствѣ, изображенномъ на фигурѣ 61 большая часть силовыхъ линій, индуктированныхъ первичнымъ токомъ, проходитъ только часть проводниковъ обмотки.

Глава двадцать шестая.

Козффициентъ трансформаторовъ.

168. Въ § 77 мы объяснили, какъ Э.Д.С. индуктируемая въ катушкѣ, пересѣкающей данное магнитное поле при данной скорости пропорціоноально числу проводниковъ образующихъ эту катушку.

169. Если переменный токъ долженъ проходить черезъ первичную обмотку трансформатора и если число оборотовъ первичной и вторичной обмотки равно, то Э.Д.С. индуктированная во вторичной обмоткѣ будетъ равна Э.Д.С. приложенной къ первичной обмоткѣ, но если вторичная обмотка имѣетъ большее или меньшее число оборотовъ, чѣмъ первичная, то Э.Д.С. индуктированная во вторичной обмоткѣ въ первомъ случаѣ

будетъ больше, во второмъ случаѣ будетъ меньше чѣмъ въ первичной цѣпи.

170. Такъ если первичная обмотка состоитъ изъ 100 оборотовъ, а вторичная изъ 10.000 оборотовъ и если къ первичной обмоткѣ приложена переменная Э.Д.С. въ 50 вольтъ, то во вторичномъ проводникѣ будетъ индуцироваться переменная Э.Д.С. въ 5000 вольтъ и коэффициентъ трансформации будетъ 1:100, потому, что вольтажъ вторичной обмотки будетъ въ 100 разъ больше вольтажъ первичной.

171. На первый взглядъ кажется, что мы можемъ получить гораздо большую мощность отъ вторичной обмотки чѣмъ отъ первичной, потому что Ваттъ = Вольту \times Амперъ, но маленькое объясненіе покажетъ намъ, что токъ вторичной обмотки падаетъ пропорціонально коэффициенту съ которымъ возрастаетъ вольтажъ.

172. Если мы вторичную обмотку трансформатора выключимъ изъ внешней цѣпи и приложимъ переменную Э.Д.С. къ первичной обмоткѣ, то мы получимъ въ послѣдней очень незначительный токъ, вслѣдствіе большого индуктивнаго сопротивления первичной обмотки.

173. Это можетъ быть разсмотрѣно другимъ образомъ: какъ только токъ начинаетъ проходить черезъ первичную обмотку, силовыя линіи индуцированныя этимъ токомъ не только пересѣкаютъ проводники вторичной катушки, но они пересѣкаютъ также и проводники первичной катушки. Поэтому въ первичной обмот-

къ индукируется вольтажъ, дѣйствующій въ противоположномъ направленіи вольтажу, приложенному къ первичной обмоткѣ (см. 156). Этотъ противоположный вольтажъ называется противо Э. д. с. индукціи и онъ стремится предотвратить какой-бы то ни было токъ, проходящій черезъ первичную обмотку, или иначе говоря, стремится направить обратно токъ, который течетъ какимъ либо другимъ образомъ. По этой причинѣ индукціонныя катушки, пользованіе которыми мы объяснимъ позже, называются иногда „реакціонными катушками“. Значеніе тока, который течетъ при этихъ условіяхъ, опредѣляется индукціей обмотки, значеніемъ частоты приложенной Э. д. с. и общихъ (полныхъ) потерь въ желѣзѣ. Этотъ токъ называется намагничивающимъ токомъ.

174. Если мы соединимъ концы вторичной обмотки черезъ сопротивленіе, пропустимъ черезъ нее токъ нѣкоторой силы, то очевидно, что **ЭТОТЪ ВТОРИЧНЫЙ ТОКЪ БУДЕТЪ ТАКЖЕ ИНДУКИРОВАТЬ МАГНИТНЫЯ СИЛОВЫЯ ЛИНІИ ВЪ ЖЕЛѢЗНОМЪ СЕРДЕЧНИКѢ ВЪ ДОБАВЛЕНІЕ КЪ СИЛОВЫМЪ ЛИНІЯМЪ ИНДУКИРОВАННЫМЪ ВЪ НЕМЪ ПЕРВИЧНЫМЪ ТОКОМЪ**, потому что вторичная обмотка обмотана также какъ и первичная вокругъ желѣзнаго сердечника. Но вторичный токъ какъ мы уже доказывали въ § 156, имѣетъ направленіе противоположное первичному току; поэтому силовыя линіи, индукированныя токомъ вторичной обмотки, будутъ уничтожать силовыя линіи, индукти-

рованныя первичнымъ токомъ. Въ результатъ этого получается нейтрализація индуктивнаго сопротивленія первичной обмотки, вслѣдствіе чего противодѣйствующая Э.Д.С. падаетъ до тѣхъ поръ, пока черезъ первичную обмотку не пройдетъ токъ достаточно большой силы. Эта реакція мгновенна, поэтому когда мы получаемъ токъ отъ вторичной обмотки то и въ первичной обмоткѣ появляется токъ пропорціональный этому послѣднему.

175. Днялье, число силовыхъ линій, индуктированныхъ въ данномъ магнитномъ полѣ пропорціонально произведенію силы тока на число витковъ. Отсюда слѣдуетъ, что если вторичная обмотка имѣетъ 10.000 оборотовъ, то токъ въ 1 амперъ проходящій черезъ вторичную обмотку дастъ тотъ же магнитный потокъ, какъ и токъ въ 100 амперовъ въ первичной обмоткѣ, отсюда очевидно, что ИЗМѢНЕНІЕ ВОЛЬТАЖА ВО ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКѢ ПРОПОРЦІОНАЛЬНО КОЭФФИЦИЕНТУ ТРАНСФОРМАЦІИ, СИЛА ТОКА ЖЕ ВЪ ЭТОЙ ОБМОТКѢ ИЗМѢНИТСЯ ВЪ ОБРАТНОМЪ ОТНОШЕНІИ.

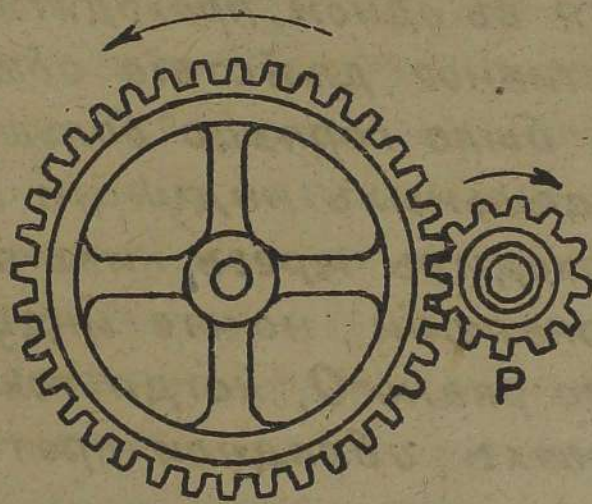
Глава двадцать седьмая.

Механическая аналогія трансформатора.

176. Лучшимъ примѣромъ механической аналогіи трансформатора можетъ служить дѣйствіе зубчатой передачи. На фигурѣ 62 изображена зубчатая передача, состоящая изъ большо-

го зубчатого колеса соединенного съ шестерней Р. Если мы приложимъ къ валу нѣкоторое „скручивающее усилие“, то это будетъ аналогично вольтажy, въ трансформаторѣ тогда шестерня Р изображаетъ собою какъ бы первичную обмотку трансформатора, а большое колесо изображаетъ собою вторичную обмотку трансформатора, потому что всякое скручивающее усилие (аналогичное вольтажy) приложенное къ валу шестерни будетъ создавать большое скручивающее усилие, приложенное къ валу большого колеса, пропорціонально ихъ зубчатому коэффициенту.

177. Точно также мы можемъ считать **СКОРОСТЬ ВРАЩЕНІЯ** аналогичной **ТОКУ**, проходящему по обмоткамъ трансформатора : скорость



фиг. 62.

вращенія маленькаго или первичнаго колеса Р будетъ больше скорости вращенія большого колеса, пропорціонально ихъ зубчатому коэффициенту; далье направленіе вращенія большого

колеса противоположно вращенію маленькаго, точно также какъ направленіе тока вторичной обмотки трансформатора противоположно направленію тока первичной.

Эта аналогія окажетъ намъ пользу при дальнѣйшемъ изученіи пользованія трансформаторами, при изученіи частотъ цѣпей безпроводочнаго телеграфа.

Глава двадцать восьмая.

Индуктивное сопротивление трансформатора

178. При объясненіи взаимнаго индуктивнаго дѣйствія вспомогательныхъ цѣпей, мы доказали, что когда двѣ обмотки такъ приближены другъ къ другу, что всѣ силовыя линіи, индуктированныя въ одной, проходятъ черезъ другую, то индуктивное дѣйствіе обѣихъ катушекъ вмѣстѣ было гораздо больше, чѣмъ сумма ихъ отдѣльныхъ индукцій въ то время когда токъ проходилъ черезъ нихъ въ одномъ и томъ же направленіи, но что индукціонное дѣйствіе было равно 0, когда токи, проходящіе черезъ нихъ, обладали противоположнымъ направленіемъ.

179. Въ случаѣ трансформатора въ обѣихъ обмоткахъ появляются токи, которые имѣютъ противоположныя направленія; далье, если трансформаторъ принадлежитъ къ типу замкнутыхъ трансформаторовъ, какъ изображено на фигурѣ 60, то на практикѣ всѣ си-

ловыя линіи, индуктированныя въ одной катушкѣ проходятъ черезъ другую; поэтому хотя обѣ катушки и обладаютъ высокою индукціей, но полученная въ трансформаторѣ индукція будетъ на практикѣ равна нулю.

180. Изложенное выше относится лишь къ такому трансформатору, въ которомъ всѣ индуктивныя магнитныя линіи проходятъ обѣ катушки, но если силовыя линіи индуктированныя хотя бы первичной обмоткой не всѣ проходятъ черезъ вторичную, то взаимная индукція обѣихъ катушекъ уменьшается, въ результатъ чего индуктивное дѣйствіе трансформатора обыкновенно увеличивается. Это явленіе можетъ быть провѣрено въ трансформаторѣ. Силовыя магнитныя линіи будутъ всегда стремиться занять путь съ меньшимъ сопротивленіемъ. Сопротивленіе пути зависитъ отъ его длины и отъ магнитной проницаемости матеріала, черезъ который онъ проходитъ.

Проницаемость желѣза въ нѣсколько сотъразъ больше чѣмъ воздуха и другихъ не магнитныхъ матеріаловъ, поэтому когда желѣзный путь предоставленъ для силовыхъ линій, то если даже онъ не исходитъ изъ центра обмотки, т.е. изъ сердечника, но даже отъ одного конца сердечника къ другому, то всѣ силовыя линіи устремляются на него и пересѣкаютъ поэтому обѣ катушки; если только длина этого желѣзнаго пути не чрезмерно велика. Такой трансформаторъ извѣстенъ подъ названіемъ

трансформатора съ замкнутой желѣзной цѣпью.

181. Если мы, вмѣсто того, чтобы направлять магнитныя силовыя линіи черезъ магнитное ярмо ограничимся лишь желѣзнымъ сердечникомъ катушки, то тогда магнитное поле, индуктированное токами, проходящими вокругъ этой катушки, будетъ разсѣяно въ окружающемъ воздухѣ, по примѣру того, какъ располагается магнитное поле; при этомъ нѣкоторыя силовыя линіи, образующія путь вблизи центра сердечника, будутъ совсѣмъ коротки, другія же будутъ пересѣкать весь сердечникъ и образуютъ путь, который охватываетъ большое пространство вокругъ сердечника. Такія условія изображены на фигурѣ 61.

182. Изъ этого рисунка видно, что большее число магнитныхъ линій проходитъ только часть обмотокъ трансформатора и это явленіе извѣстно подъ названіемъ разсѣянія; результатомъ этого является увеличеніе индукціи трансформатора.

183. Индукція трансформатора какъ мы увидимъ дальше, есть полезное качество, такъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ трансформаторы дѣлаются съ большимъ магнитнымъ разсѣиваніемъ, т. е. большое число индуктированныхъ магнитныхъ линій не пересѣкаетъ обѣихъ катушекъ. Такіе трансформаторы извѣстны подъ названіемъ трансформаторовъ съ открытой желѣз-

ной цѣпью.

Глава двадцать девятая.

Фазовое отношеніе между токомъ и Э.Д.С. въ резонирующихъ цѣпяхъ.

184. Фазовое отношеніе между токомъ и Э.Д.С. (альтернатора), при помощи энергіи конденсатора вспомогательной цѣпи, имѣетъ большое значеніе при дѣйствіи искрового промежутка. Поэтому прежде чѣмъ приступить къ объясненію дѣйствій передатчика, необходимо имѣть ясное представленіе о фазовомъ отношеніи между токомъ и Э.Д.С. при нагрузкѣ цѣпи.

Глава тридцатая.

Значеніе разницы фазъ.

185. Мы уже доказывали, что измѣненія Э.Д.С. полученной въ альтернаторѣ, подчиняются синусоидальному закону и что сила тока слѣдовательно также подчиняется синусоидальному закону.

186. Частота переменнаго тока, который является результатомъ Э.Д.С., будетъ такая же какъ и частота этой Э.Д.С., но отсюда не слѣдуетъ, что Э.Д.С. будетъ возрастать и падать одновременно съ токомъ; другими словами Э.Д.С. не будетъ находиться въ **ОДНОЙ** ФАЗѢ съ токомъ.

187. Такъ какъ и э.д.с. и токъ измѣняются съ теченіемъ времени, то мы можемъ изобразить кривую э.д.с. на такомъ же чертежѣ какъ и кривую тока (см. §45) и такъ какъ обѣ онѣ слѣдуютъ синусоидальному закону, то ихъ взаимоотношенія могутъ быть также изображены посредствомъ синусоидальныхъ кривыхъ. Для отличія отъ кривой, изображающей э.д.с. и той которая изображаетъ токъ, мы изобразимъ на чертежѣ кривую тока жирной чертой а кривую э.д.с. тонкой чертой. Во всѣхъ случаяхъ мы будемъ откладывать промежутки времени или углы на абсциссахъ, а значенія тока и э.д.с. на ординатахъ.

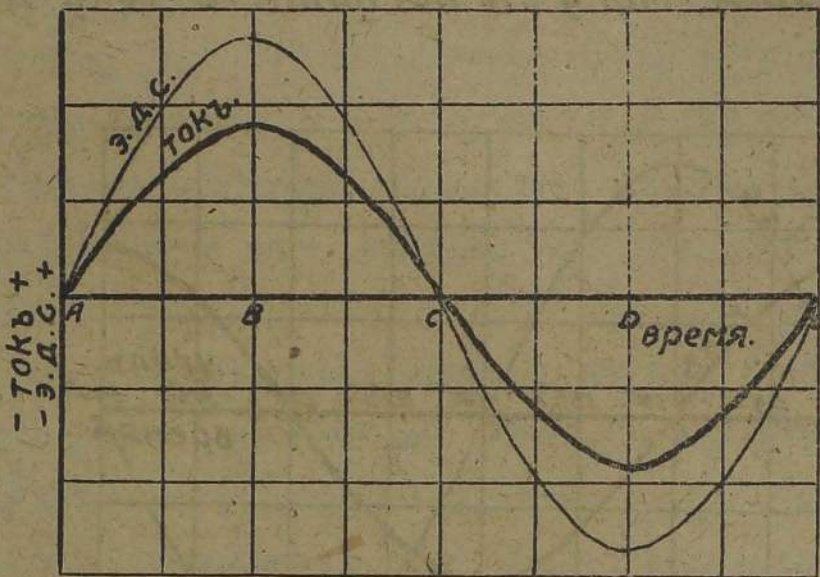
188. При этихъ условіяхъ кривыя, изображающія э.д.с. и токъ примутъ форму указанную на фигурѣ 63, на которой мы видимъ, что точки въ которыхъ кривая тока пересѣкаетъ абсциссу времени, т.е. моменты А, С и Е соответствуютъ точкамъ, въ которыхъ кривая э.д.с. пересѣкаетъ ту же самую абсциссу.

189. Далѣе мы видимъ, что моменты, когда токъ достигаетъ своихъ максимальныхъ значеній, совпадаютъ съ моментами, когда и э.д.с. достигаетъ своихъ максимальныхъ значеній.

190. Если э.д.с. полученная въ альтернаторѣ возрастаетъ и падаетъ неодновременно съ такимъ, проходящимъ черезъ цѣпь и являющимся результатомъ этой э.д.с., тогда э.д.с. и токъ находятся въ различныхъ фазахъ.

191. При этихъ условіяхъ кривыя, изобра-

жающія Э.Д.С. и токъ могутъ занять различныя относительныя положенія, зависящія отъ вели-

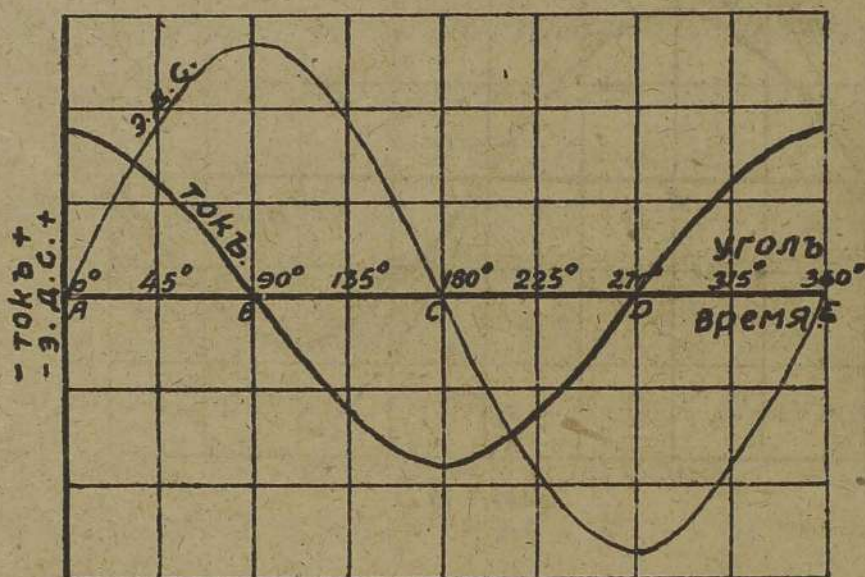


Фиг. 63.

чины, на которую они отличаются по времени. Такое явленіе изображено на фигурѣ 64; на которой мы увидимъ, что въ моменты А, С и Е, когда Э.Д.С. равняется нулю, токъ занимаетъ свои максимальныя значенія, а въ моменты В и Д, когда Э.Д.С. занимаетъ свои максимальныя значенія, токъ проходящій черезъ цѣпь, равенъ нулю. На первый взглядъ такія условія кажутся невозможными, но въ дальнѣйшемъ мы покажемъ, какимъ образомъ они возникаютъ; въ настоящій же моментъ мы хотимъ объяснить только, что подразумѣвается подъ разницей фазъ и какъ она опредѣляется.

192. За каждымъ импульсомъ или волной Э.Д.С. приложенной къ цѣпи, при помощи альтернатора будетъ слѣдовать соответствующая

волна тока, проходящего через эту цепь и поэтому ток и э.д.с. будут обладать одинаковой частотой, но существует много причин, которые могут помешать току достиг-



фиг. 64.

нуть его максимального значения в то время, когда э.д.с. достигает свое максимальное значение. Когда ток достигает своего максимального значения после э.д.с., то говорят, что ток **запоздал**, а когда ток достигает своего максимального значения до э.д.с., как например, в случае изображенном на фигуре 64, то этот ток называют **опережающим** током:

193. При объяснении построения синусоидальной кривой в §§ 40-44, мы показали, как может быть изображено время, промежуток которого в течении полного периода может быть изображен как угол в 360°. Отношение фаз между переменной э.д.с. и то-

ками, гораздо удобнее определить это отношение при помощи РАЗНИЦЫ УГЛА, чья разница времени между моментами когда оба фактора достигают нуля. Причиной этого является то, что промежуток времени, который требуется либо для Э.Д.С. либо для тока, для того чтобы пройти полный период, изменяется в зависимости от частоты альтернатора; поэтому, если мы будем определять их фазовые отношения в определенных промежутки времени, так например, если мы скажем, что ток достигает своего максимального значения на $\frac{1}{100}$ секунды позднее чья Э.Д.С., то это будет иметь разное значение при различных частотах перемень. Если же мы будем определять их фазовые отношения в градусах, так например, если мы определим, что ток на фигуру 64 достигает своего максимального значения 90° раньше чья Э.Д.С., то тогда мы будем знать, что даже и при изменении частоты перемень, ток будет равен нулю, когда Э.Д.С. достигнет своего максимального значения и что когда ток в свою очередь достигнет своего максимального значения, то Э.Д.С. упадет до нуля.

194. Теперь мы сможем обсудить, при каких условиях электрической цепи будет изменяться фазовое отношение между током и Э.Д.С. в этой цепи, а затем покажем каковы фазовые отношения между Э.Д.С.

и токомъ въ заряженной цѣпи передатчика.

195. Объясненіе этихъ явленій станетъ легче, если мы сравнимъ ихъ съ аналогичными механическими условіями; кромѣ того въ слѣдующихъ §§ описанъ рядъ опытовъ, изображающихъ условія, при которыхъ создается разница фазъ между Э.Д.С. и токомъ электрической цѣпи.

Сперва мы обозначимъ различные факторы электрической цѣпи и аналогичные имъ механическіе эквиваленты.

196. Три главныхъ свойства электрической цѣпи, которые мы будемъ разсматривать, слѣдующіе: безындукціонное сопротивленіе, индуктивное сопротивленіе и емкость.

Эти три свойства аналогичны тремъ факторамъ любой движущейся механической системы, а именно: тремъ, массѣ и упругости.

197. Описывая электрическое свойство индуктивнаго сопротивленія, мы показали что оно играетъ такую же роль фактора накапливающейся энергіи въ электрической цѣпи, какъ и маховикъ въ механической системѣ и позже мы показали, какъ индуктивное сопротивленіе колебательной цѣпи имѣетъ такое же вліяніе на естественную частоту этой цѣпи, какъ и масса имѣетъ вліяніе на естественную частоту въ колебаніяхъ механической системы.

198. Описывая электрическое свойство

емкости, мы показывали его дѣйствіе, какъ фактора **НАКАПЛИВАЮЩАГО ЭНЕРГІЮ** въ электрической цѣпи подобно дѣйствію упругой пружины въ механической системѣ. Мы также доказали позже, какъ емкость колебательной цѣпи оказываетъ такое же дѣйствіе на **ЕСТЕСТВЕННУЮ ЧАСТОТУ** этой цѣпи, какъ и упругость стальной пружины оказываетъ на частоту въ колебаніяхъ механической системы.

199. Мы будемъ разсматривать слѣдующіе три фактора электрической цѣпи: **КОЛИЧЕСТВО, ТОКЪ** и **Э.Д.С.** Мы доказали, что эти три фактора аналогичны тремъ факторамъ любой механической системы, а именно: **движенію, скорости и силѣ.**

Эти аналогичные факторы должны быть тщательно запомнены ученикомъ, т.к. при этомъ ему будетъ легче слѣдить за выводами, которые мы будемъ извлекать изъ опытовъ и послѣ того какъ всѣ эти опыты будутъ сдѣланы при помощи преобразовательной механической системы. Мы составили слѣдующую таблицу механическихъ факторовъ съ ихъ электрическими эквивалентами.

200. Тѣженіе въ механической системѣ = **БЕЗЪИНДУКЦІОННОМУ СОПРОТИВЛЕНІЮ** въ электрической цѣпи.

Масса въ механической системѣ = **ИНДУКТИВНОМУ СОПРОТИВЛЕНІЮ** въ электрической цѣпи.

Упругость въ механической системѣ = **ЕМ-**

КОСТИ электрической цепи.

Движение в механической системе = количеству электричества в электрической цепи.

Скорость в механической системе = Току в электрической цепи.

Скручивающее усилие в механической системе = Э.Д.С. в электрической цепи.

201. Отсюда мы можем взять несколько единиц, определяющих значение или количество факторовъ действующихъ в механической системе и применить ихъ для опредѣленія единицъ соответствующихъ электрическихъ факторовъ. Такимъ образомъ единица движения = 1 оборотъ аналогично 1 Кулону. Единица скорости = 1 числу оборотовъ въ секунду и аналогична 1 Амперу.

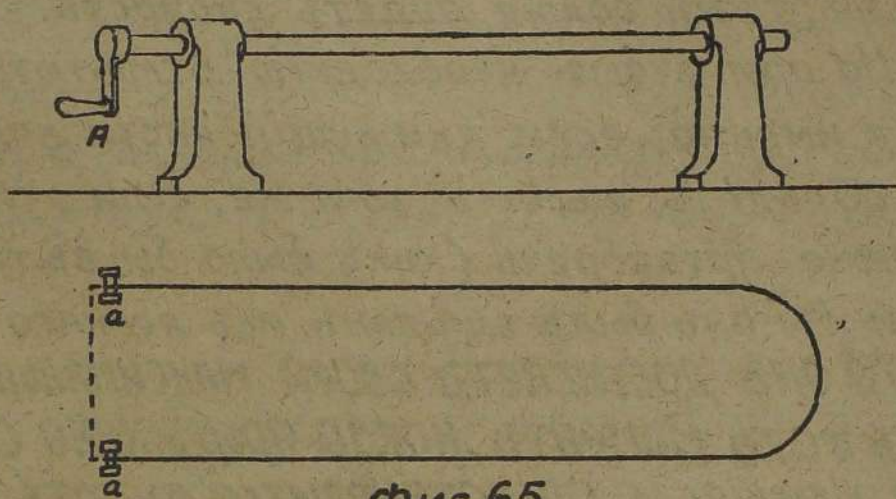
Единица скручивающаго усилия = 1 фунту-дюймъ аналогично 1 Вольту.

Глава тридцать первая.

Дѣйствіе безъиндукціоннаго сопротивленія на фазовое отношеніе.

202. Первый опытъ: Возьмемъ негибкій валъ установимъ его на подшипники, на которыхъ можно было бы его свободно вращать и приложимъ къ нему скручивающее усилие. Этотъ валъ изображаетъ проводники электрической цепи. На фигурѣ 65 изображено это механическое устройство и кромѣ того ниже нанесенъ чертежъ электрической цепи. Ручка А в механической системе изображаетъ кабельные наконечники „а“ на кон-

цахъ проводника, а скручивающее усилие которое



фиг. 65.

можетъ быть приложено къ ручкѣ, аналогично Э.Д.С. приложенной при помощи батареи или какого-нибудь другого генератора къ кончикамъ проводника.

203. Если мы приложимъ скручивающее усилие къ валу, то этимъ мы заставимъ валъ вращаться въ его подшипникахъ. Если бы не было тренія ни между валомъ и подшипникомъ, ни между валомъ и окружающей атмосферой, то скорость вращенія вала была бы безконечно велика и не зависѣла бы отъ величины приложеннаго скручивающаго усилія, но нѣкоторое количество тренія всегда создается. И благодаря этому тренію скорость вращенія вала при данномъ скручивающемъ усиліи будетъ имѣть границу въ зависимости отъ величины тренія. Такимъ образомъ вмѣсто того, чтобы вращаться съ безконечно большою скоростью, валъ будетъ обладать

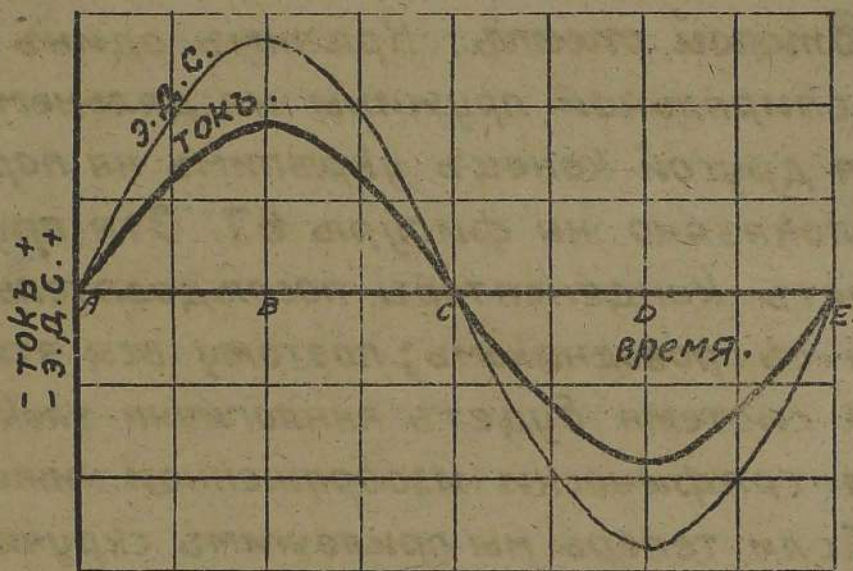
опредѣленной скоростью, которая при опредѣленной величинѣ тренія будетъ зависѣть отъ приложеннаго скручивающаго усилія. Чѣмъ больше скручивающее усиліе, тѣмъ болѣе будетъ скорость.

204. Но при этомъ необходимо отмѣтить одинъ пунктъ, а именно, если движущія части вала не будутъ обладать вѣсомъ, или же, если этимъ вѣсомъ можно пренебречь (какъ было бы въ томъ случаѣ, если бы онъ былъ сдѣланъ изъ легкаго алюминія), то онъ достигнетъ своей максимальной скорости въ тотъ моментъ, когда приложено скручивающее усиліе и пріостановится въ тотъ моментъ, когда скручивающее усиліе прекратится.

205. Если мы приложимъ Э.Д.С. къ наконечникамъ электрической цѣпи, изображенной на фигурѣ 65, то у насъ создастся электрическій токъ, проходящій черезъ эту цѣпь. Если же при этомъ электрическая цѣпь не будетъ обладать сопротивленіемъ, то электрическій токъ приметъ безконечно большое значеніе, не зависящее отъ того, мала или велика приложенная Э.Д.С. Но такъ какъ всякая цѣпь будетъ обладать нѣкоторымъ сопротивленіемъ, то проходить по цѣпи будетъ **нѣкоторый ограниченный токъ**, при чемъ величина его будетъ зависѣть отъ приложенной Э.Д.С. и отъ сопротивленія цѣпи, при этомъ по закону Ома токъ пропорціоналенъ Э.Д.С. и обратно пропорціоналенъ сопротивленію. Если при этомъ проводникъ обладаетъ опредѣленнымъ сопротивленіемъ, то токъ достигнетъ нѣкотораго значенія въ тотъ моментъ, когда будетъ приложена Э.Д.С. и прекратится въ тотъ моментъ, когда пре-

кратится Э.Д.С. Такимъ образомъ величина тока будетъ всегда пропорціональна величинѣ, приложенной Э.Д.С.

206. Если же мы вмѣсто постоянной Э.Д.С. приложенной при помощи батареи, приложимъ переменную (которую можно получить при помощи альтернатора), то очевидно, что токъ который бу-



Фиг. 66.

детъ проходить по цѣпи, какъ результатъ приложенной переменной Э.Д.С. будетъ измѣняться соответственно измѣненію приложенной Э.Д.С. Это происходитъ оттого, что величина тока всегда пропорціональна величинѣ Э.Д.С.; поэтому токъ будетъ всегда равенъ нулю въ тотъ моментъ, когда Э.Д.С. равна нулю и будетъ достигать своего максимальнаго значенія, когда Э.Д.С. достигнетъ своего максимума. Эти явленія могутъ быть изображены при помощи кривой, какъ показано на фигурѣ 66. Тонко-начерченная кривая изображаетъ измѣненія Э.Д.С., приложенной къ цѣпи при помощи альтернатора, а

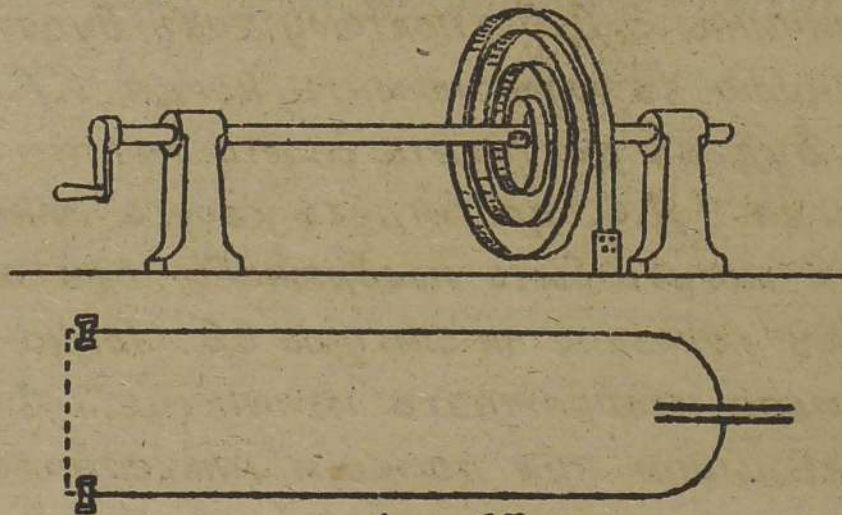
жирно начерченная кривая изображает токъ, который будетъ проходить черезъ цѣпь, обладающую нѣкоторымъ сопротивленіемъ и который есть не что иное, какъ результатъ этой Э.Д.С.

Глава тридцать вторая.

Дѣйствіе емкости на отношеніе фазъ.

207. *Второй опытъ*: Крѣпимъ одинъ конецъ плоской спиральной пружины на дальнемъ концѣ вала, а другой конецъ укрѣпимъ на подставкѣ, какъ показано на фигурѣ 67. Эта пружина изображаетъ конденсаторъ послѣдовательно соединенный съ проводникомъ; поэтому вся эта механическая система будетъ аналогична электрической цѣпи графически изображенной ниже.

208. Если теперь мы приложимъ скручивающее усилие черезъ ручку къ валу, мы снова приведемъ его въ состояніе вращенія, но на этотъ разъ только **ДО ОГРАНИЧЕННОГО ЧИСЛА ОБОРОТОВЪ**, потому что какъ только валъ начнетъ вращаться, пружина будетъ оказывать обратное скручивающее усилие на валъ и чѣмъ **ДОЛЬШЕ** будетъ **ВРАЩАТЬСЯ** **ВАЛЪ** **ТѢМЪ**



Фиг. 67.

больше будетъ обратное скручивающее усилие, производимое пружиной.

209. Данное скручивающее усилие, приложенное къ валу будетъ вращать его до тѣхъ поръ пока обратное скручивающее усилие, производимое пружиной не сравнится съ нимъ, тогда валъ установится.

210. Точно также, если мы приложимъ постоянную Э.Д.С. къ конденсатору, то мы создадимъ токъ, проходящій въ конденсаторъ черезъ проводники. Какъ только токъ начнетъ входить въ конденсаторъ, послѣдній начнетъ проявлять обратную Э.Д.С. (или какъ ее обыкновенно называютъ, противодѣйствующую Э.Д.С.) при этомъ получается слѣдующій результатъ: токъ продолжаетъ входить въ конденсаторъ до тѣхъ поръ пока противодѣйствующая Э.Д.С. конденсатора не сравняется съ Э.Д.С. приложенной къ наконечникамъ.

211. Какъ число оборотовъ вала будетъ зависеть отъ упругости пружины съ которой соединенъ валъ, такъ и количество электричества въ цѣпи конденсатора зависитъ отъ емкости этого конденсатора.

212. Мы должны наблюдать главнымъ образомъ не все количество электричества, входящее въ конденсаторъ но взаимоотношенія между токомъ и приложенной Э.Д.С. въ теченіи опредѣленнаго промежутка времени, а также взаимоотношеніе между приложенной Э.Д.С. и противодѣйствующей Э.Д.С. конденсатора.

213. Возвратимся къ первому механическому

опыту описанному въ § 203, гдѣ мы показали, что если бы въ движущихся частяхъ не было бы въ-ся, то любое скручивающее усилие, приложенное къ валу, приведетъ его въ состояніе вращенія со скоростью, зависящей отъ величины приложеннаго скручивающаго усилия, при этомъ валъ будетъ вращаться съ такой скоростью въ теченіи всего времени, пока скручивающее усилие будетъ приложено къ нему.

214. Разница между тѣми условіями и условіями этого опыта заключается въ слѣдующемъ: въ послѣднемъ случаѣ наличное скручивающее усилие уменьшается въ тотъ моментъ, когда сжимается пружина.

215. Наличное скручивающее усилие есть разница между скручивающимъ усилиемъ приложеннымъ къ валу и противодействующимъ скручивающимъ усилиемъ, производимымъ пружиной. Если T будетъ изображать наличное скручивающее усилие, T_a - приложенное скручивающее усилие, а T_b - противодействующее скручивающее усилие, тогда $T = T_a - T_b$.

216. Если теперь мы приложимъ къ валу скручивающее усилие равное нулю и возрастающее съ равномерной быстротой, то скорость вращенія ВАЛА въ этомъ случаѣ будетъ имѣть определенное значеніе, зависящее отъ упругости пружины и скорости возрастанія скручивающаго усилия. Нагляднѣе покажемъ это явленіе на примѣрѣ. Предположимъ, что къ валу придѣлана ручка въ 10 дюймовъ длины, тогда очевид-

но, что если къ этой ручкѣ приложено напряженіе въ 4 фунта, то скручивающее усилие приложенное къ ней равняется 40 фунто-дюймамъ. Предположимъ также, что пружина соединенная съ валомъ во время полного оборота, сдѣланнаго этимъ валомъ, производитъ противодѣйствующее скручивающее усилие въ 10 фунто-дюймовъ и будетъ производить одинаковыя скручивающія усилия, равныя 10 фунто-дюймамъ каждыя полныя періоды вращенія вала. При этихъ условіяхъ очевидно, что если къ валу приложено равномерное скручивающее усилие въ 10 фунто-дюймовъ, то въ теченіи перваго полного періода этотъ валъ будетъ вращаться сначала быстро, а затѣмъ остановится.

217. Очевидно также, что если вмѣсто равномернаго скручивающаго усилия мы приложимъ скручивающее усилие, которое въ теченіи одной секунды будетъ возрастать отъ нуля до 10 фунто-дюймовъ, то валъ будетъ дѣлать полный оборотъ въ теченіи одной секунды, поэтому его средняя скорость будетъ равна 1 періоду (обороту) въ секунду.

218. Если мы приложимъ скручивающее усилие, которое въ теченіи одной секунды возрастаетъ отъ нуля до 20 фунто-дюймовъ, то скорость вала въ этомъ случаѣ будетъ равна 2 періодамъ въ секунду. Тѣмъ не менѣе въ обоихъ случаяхъ **ВАЛЪ ОСТАНОВИТСЯ** въ тотъ моментъ, когда **СКРУЧИВАЮЩЕЕ УСИЛІЕ ПЕРЕСТАНЕТЪ ВОЗРАСТАТЬ**.

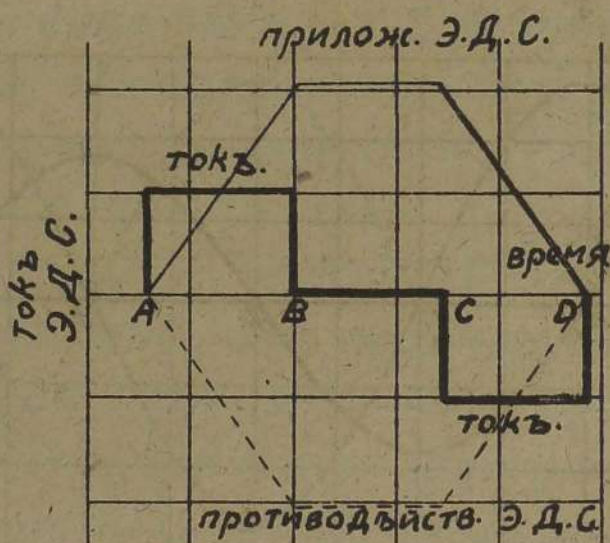
219. Мы можемъ сказать поэтому, что для любого вращенія вала требуется **ИЗМѢНЕНІЕ ВЪ ПРИЛОЖЕННОМЪ СКРУЧИВАЮЩЕМЪ УСИЛІИ** и скорость вращенія вала пропорціональна **СКОРОСТИ ВОЗРАСТАНІЯ ИЛИ СКОРОСТИ ПАДЕНІЯ** приложеннаго скручивающаго усилія.

220. Подобно этому въ электрической цѣпи, обладающей лишь емкостью, при приложеніи переменнѣй Э.Д.С. къ цѣпи, появляется токъ. Далѣе, **ВЕЛИЧИНА ТОКА ПРОПОРЦІОНАЛЬНА СКОРОСТИ ИЗМѢНЕНІЯ Э.Д.С.**, потому что при опредѣленной емкости данная Э.Д.С. будетъ направлять опредѣленное количество электричества въ конденсаторъ. Напримѣръ: если въ теченіи одной секунды Э.Д.С. постоянно и равномерно возрастетъ отъ 0 до 1 вольта и конденсаторъ, къ которому приложена эта возрастающая Э.Д.С., обладаетъ такой емкостью, что Э.Д.С. въ 1 вольтъ, приложенная къ его накопительнымъ, будетъ вводить въ него 1 кулонъ электричества, то средній токъ въ теченіи этой секунды будетъ равенъ 1 кулону (въ секунду), то есть иначе = 1 амперъ.

221. Если бы въ вышеуказанномъ примѣрѣ скорость увеличенія Э.Д.С. была бы больше, такъ напримѣръ, если бы вольтажъ увеличился въ теченіи $\frac{1}{2}$ секунды отъ 0 — 1 вольта, т.е. скорость увеличенія возросла бы въ 2 раза, то токъ проходящій въ конденсаторъ тоже увеличился бы въ 2 раза, т.е. онъ достигалъ бы скорости 2 кулоновъ въ секунду или другими сло-

вами сила тока была бы равна 2 амперамъ

222. Полученные результаты могутъ быть изображены кривой, показанной на фигуру 68, гдѣ кривая начерченная тонкой чертой изображаетъ Э.Д.С., а толстой — токъ появляющійся въ цѣпи благодаря этой Э.Д.С. Разсматривая кривую начерченную тонкой линіей, мы увидимъ, что Э.Д.С. равняется нулю въ точку А, а затѣмъ возрастаетъ съ равномерной скоростью до точки В, затѣмъ она остается неизмѣнной до точки С, а затѣмъ снова падаетъ съ равномерной скоростью и достигаетъ нуля въ точку Д. Токъ же изображенный толстой линіей, который есть не что иное какъ результатъ этой Э.Д.С., остается неизмѣннымъ отъ точки А до В, потому что въ этотъ моментъ скорость возрастанія Э.Д.С. неизмѣнна, а токъ какъ мы уже доказали, пропорціоналенъ по величинѣ Э.Д.С. но скорости ея измѣненія отъ точки В до С тока въ цѣпи не будетъ, потому что въ

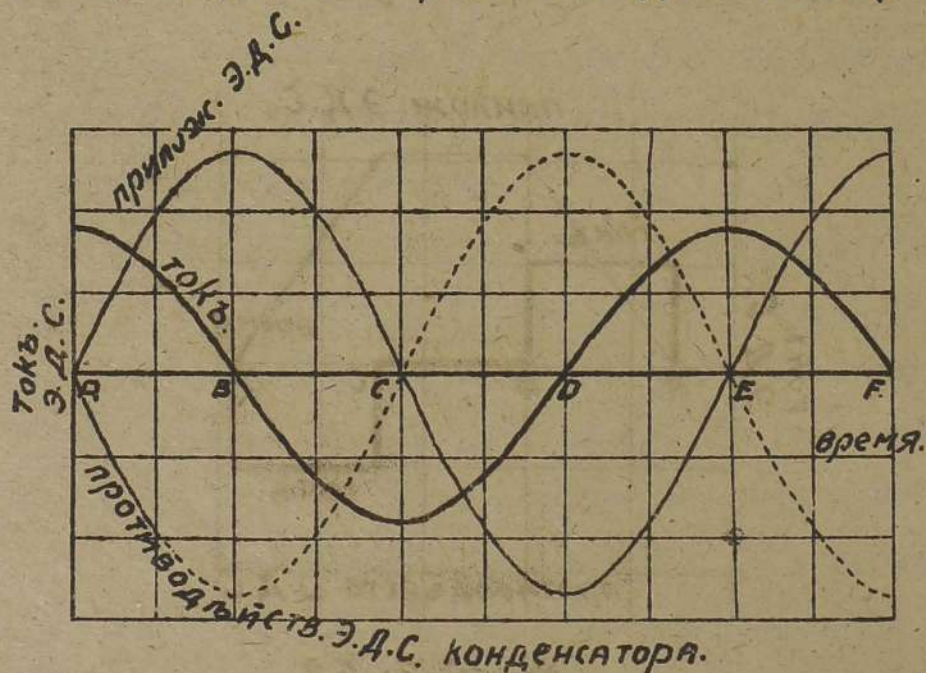


фигура 68.

этот промежуток времени никаких изменений в приложенной Э.Д.С. не происходит. Отъ С до D равномерный токъ снова будетъ проходить по цепи, потому что въ это время Э.Д.С. снова изменяется съ равномерной скоростью, но такъ какъ Э.Д.С. въ этотъ моментъ падаетъ, то направление тока въ цепи будетъ обратное направлению тока въ периодъ времени отъ А до В, т.е. въ тотъ периодъ когда Э.Д.С. возрастала.

223. Мы можемъ сказать поэтому, что токъ идущій въ конденсаторъ по цепи, не обладающей индуктивнымъ сопротивленіемъ, является какъ результатъ переменнѣй Э.Д.С. и пропорціоналенъ скорости измененія Э.Д.С. въ цепи.

224. Если мы теперь начертимъ кривую, изображающую изменение вольтажа, полученнаго при помощи альтернатора, какъ показано на фигурѣ 69, то мы увидимъ, что скорость измененія вольтажа, какъ видно изъ кривой



фигура 69.

(см. § 18) больше въ моментъ A, C и E , т.е. въ тотъ моментъ, когда вольтажъ падаетъ до нуля, а такъ же что скорость измѣненія равняется нулю, когда вольтажъ достигаетъ своего максимума, а именно: въ моменты B и D , потому что въ эти моменты кривая Э.Д.С. практически горизонтальна, т.е. измѣненіе въ Э.Д.С. не происходитъ.

225. Отсюда слѣдуетъ, что токъ идущій въ конденсаторъ достигаетъ своего **МАКСИМАЛЬНАГО** значенія въ тотъ моментъ, когда Э.Д.С. **БУДЕТЪ РАВНА НУЛЮ** и когда токъ въ свою очередь будетъ равенъ нулю, тогда Э.Д.С. достигаетъ своего максимальнаго значенія, поэтому на фигурѣ 69 кривая, начерченная толстой чертой, будетъ изображать измѣненіе идущаго въ конденсаторъ тока, который является результатомъ переменннй Э.Д.С.

226. Изъ этого чертежа мы видимъ, что токъ достигаетъ своего максимальнаго значенія на 90° раньше Э.Д.С. Теперь мы можемъ сказать, что когда переменная Э.Д.С. приложена къ цепи, которая обладаетъ только емкостью и не имѣетъ безындукціоннаго или индуктивнаго сопротивленія, тогда токъ поступающій въ цепь будетъ **ОПЕРЕЖАЮЩИМЪ НА 90°** .

227. Очевидно, что противодѣйствующая Э.Д.С. конденсатора тѣмъ больше, чѣмъ больше количества электричества поступило въ конденсаторъ, также какъ и противодѣйствующее усиленіе, производимое пружиной во второмъ только что описанномъ опытѣ, тѣмъ больше чѣмъ

больше число оборотовъ дѣлаетъ валъ въ определенномъ направленіи (см. § 208). Отсюда ясно, что **ПРОТИВОДѢЙСТВУЮЩАЯ Э. Д. С. КОНДЕНСАТОРА** будетъ всегда достигать своего **МАКСИМАЛЬНАГО ЗНАЧЕНІЯ**, если токъ поступаетъ въ конденсаторъ въ теченіи продолжительнаго періода времени въ одномъ и томъ же направленіи.

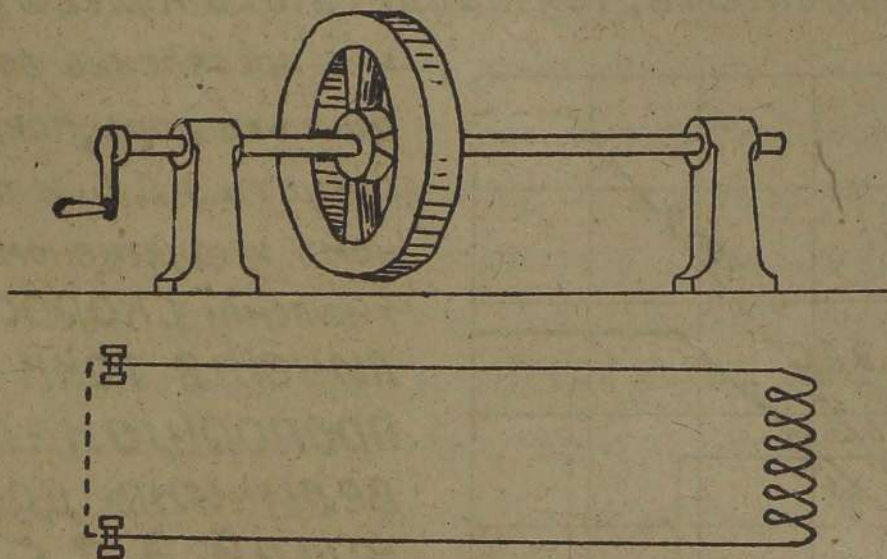
228. Разсмотрѣвъ кривую тока, изображенную на фигурѣ 69 очевидно, что токъ имѣетъ одно и тоже направленіе за весь промежутокъ времени въ моменты В, D и F. Отсюда слѣдуетъ, что **протидводѣйствующая Э. Д. С.** должна быть въ данномъ случаѣ **протидположна** приложенной Э. Д. С., то кривая протидводѣйствующей Э. Д. С. займетъ положеніе изображенное пунктиромъ на фигурѣ 69.

Глава тридцать третья.

Дѣйствіе индуктивнаго сопротивленія на отношеніе фазъ.

229. **Третій опытъ:** Помѣстимъ теперь на валъ вмѣсто пружины большой маховикъ, причемъ онъ будетъ вращаться вмѣстѣ съ валомъ, какъ это изображено на фигурѣ 70. Этотъ маховикъ изображаетъ индуктивное сопротивленіе постепенно увеличивающееся вмѣстѣ съ увеличеніемъ маховика и вся механическая система будетъ поэтому **аналогична** электрической цѣпи, изображенной на той же фигурѣ. Если мы приложимъ къ валу равномерное вра-

ЩАЮЩЕЕ УСИЛІЕ, то онъ будетъ вслѣдствіи инерціи маховика постепенно увеличивать свою скорость. Далѣе, скорость



фигура 70.

будетъ увеличиваться только до тѣхъ поръ, пока дѣйствуетъ вращающее усиліе. Отсюда очевидно, что въ этомъ случаѣ скорость вращенія маховика въ любой моментъ, послѣ того какъ было приложено вращающее усиліе, будетъ зависеть отъ величины промежутка времени, въ теченіи котораго дѣйствовало вращающее усиліе.

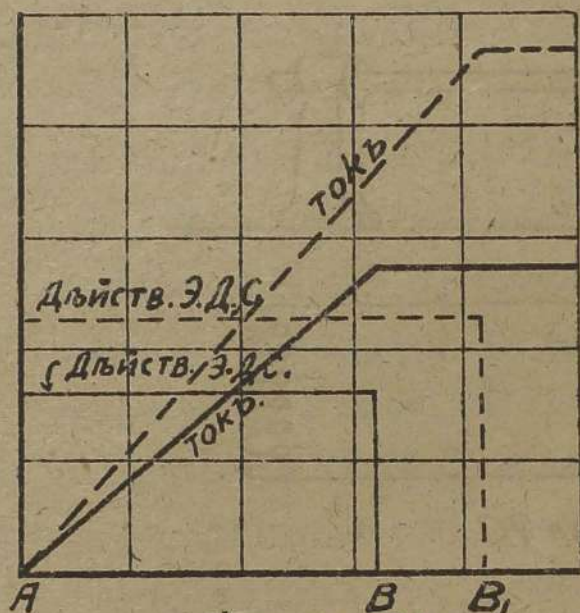
230. Если мы повторимъ этотъ опытъ, но приложимъ гораздо большее вращающее усиліе къ валу, то мы увидимъ, что въ этомъ случаѣ скорость вращенія вала не только увеличивается въ теченіи всего промежутка времени, въ который дѣйствуетъ усиліе, но что она кромѣ того увеличилась больше чѣмъ въ первый разъ. Отсюда мы видимъ, что СКОРОСТЬ вала къ которому придѣлянъ ма-

ховикъ определенной величины **ПРОПОРЦІОНАЛЬНА** величинъ **ВРАЩАЮЩАГО** **УСИЛІЯ**.

231. Подобно этому, когда дѣйствуетъ постоянная Э. Д. С. въ цѣпи обладающей лишь индуктивнымъ сопротивленіемъ, токъ будетъ отъ нулевого значе-

нія постепенно возрастать до тѣхъ поръ, пока дѣйствуетъ Э. Д. С. и при данномъ индуктивномъ сопротивленіи **СКОРОСТЬ** **УВЕЛИЧЕНІЯ** **ТОКА** **БУДЕТЪ** **ПРОПОРЦІОНАЛЬНА** величинъ дѣйствующей Э. Д. С. Результаты всего изложеннаго мы можемъ изобразить

при помощи кривыхъ, какъ



фигура 71.

это показано на фигурѣ 71, гдѣ кривая начерченная тонкими линиями изображаетъ дѣйствующую Э. Д. С., а толстой линіей токъ, проходящій по цѣпи и являющійся не чѣмъ инымъ, какъ результатомъ дѣйствующей Э. Д. С.

232. Кроме того мы докажемъ, что при данной дѣйствующей Э. Д. С. скорость возрастанія тока зависитъ отъ индуктивнаго сопротивленія цѣпи, также какъ въ механическомъ опытѣ увеличеніе скорости вращенія вала зависитъ отъ вѣса маховика.

233. Если мы приложимъ вращающее усилие къ валу, который в теченіи нѣкотораго промежутка времени пріобрѣтетъ нѣкоторую

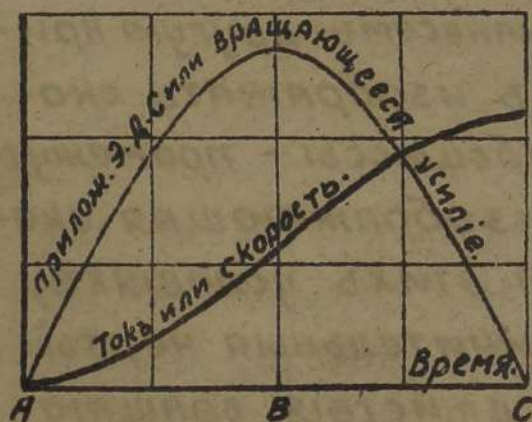
скорость, а затѣмъ это усиліе сразу прекратимъ, то валъ повинуюсь моменту вращенія маховика, будетъ продолжать вращаться съ пріобрѣтенной скоростью въ теченіи безграничнаго періода времени, если только конечно не будетъ тренія, которое заставило бы его остановиться.

234. Подобно этому, въ аналогичной электрической цѣпи, если Э. Д. С. дѣйствуетъ нѣкоторый промежутокъ времени, въ теченіи котораго токъ достигнетъ нѣкоторой величины, то токъ этотъ будетъ проходить по цѣпи въ теченіи безграничнаго періода времени, если бы даже дѣйствіе Э. Д. С. неожиданно прекратилось, при этомъ мы предполагаемъ конечно, что цѣпь не обладаетъ сопротивленіемъ.

Это изображено на фигурѣ 71, гдѣ въ точку „В“ или В, Э. Д. С. паднетъ до нуля, а кривая тока принимаетъ горизонтальное направленіе.

235. Посмотримъ какова будетъ скорость при вращающемся усиліи, которое будетъ постепенно возрастать отъ нуля до нѣкотораго максимальнаго значенія въ точку В, а затѣмъ снова будетъ по-

степенно падать съ равномерной скоростью до нуля въ точку С. Такое усиліе мы можемъ изобразить посредствомъ синусоидальной кривой, какъ показано тонкой линіей на фигурѣ 72, на которой отръзки абсциссы изображаютъ промежутокъ



фигура 72.

времени, а ординаты значеніе приложеннаго вращающаго усилія.

236. Въ предыдущемъ опытѣ мы доказали, что при маховикѣ съ определенной массой, увеличеніе скорости вращенія вала зависитъ отъ Величины Вращающаго Усилія и кромѣ того, что Величина скорости вращенія вала въ любой моментъ зависитъ отъ Величины того промежутка времени, въ теченіи котораго дѣйствовало это вращающее усиліе. Отсюда слѣдуетъ, что въ данномъ случаѣ 1) скорость вращенія вала будетъ сначала равна нулю и затѣмъ будетъ постепенно возрастать до нѣкотораго максимальнаго значенія, 2) скорость вала будетъ увеличиваться въ тотъ моментъ сильнѣе, когда дѣйствующее вращающее усиліе достигнетъ своего максимума и 3) скорость вращенія вала будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дольше дѣйствовало вращающее усиліе до того момента, когда оно упадетъ до нуля въ точкѣ „С“.

237. Если мы теперь нанесемъ другую кривую, гдѣ ординаты будутъ изображать скорость вращенія вала, а абсциссы - промежутки времени, то кривая, изображающая скорость вращенія вала при этихъ условіяхъ, приметъ слѣдующія отличительныя черты:

1) Въ моментъ начала дѣйствія вращающаго усилія кривая будетъ имѣть нулевое

значеніе, а затѣмъ будетъ постоянно возрастать до нѣкотораго максимума.

2) Крутизна кривой (которая указываетъ на быстроту возрастанія скорости) будетъ больше въ тотъ моментъ, когда приложенное вращающее усилие достигаетъ своего максимума.

3) Высота кривой (которая указываетъ на величину скорости) будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше промежутокъ времени, втеченіи котораго дѣйствовало вращающее усилие.

238. Такая кривая изображена толстой чертой на фигурѣ 72, вначалѣ она возрастаетъ отъ нуля съ легкимъ наклономъ, но затѣмъ крутизна наклона увеличивается до момента „В“, гдѣ она достигаетъ наибольшей крутизны въ тотъ моментъ, когда дѣйствующее вращающее усилие достигаетъ своего максимальнаго значенія. Послѣ точки „В“ наклонъ кривой становится все меньше и меньше до точки „С“, гдѣ онъ достигаетъ своей максимальной высоты, причемъ въ этотъ моментъ вращающее усилие дѣйствовало въ теченіи самаго долгаго промежутка времени.

239. Подобно этому въ электрической цѣпи, обладающей лишь индуктивнымъ сопротивленіемъ, если Э.Д.С. дѣйствуетъ такимъ образомъ, что въ началѣ она равна нулю, а затѣмъ постепенно возрастаетъ до своего максимальнаго значенія, послѣ чего снова падаетъ до нуля, то токъ проходящій по цѣпи и являющійся результатомъ этой Э.Д.С. будетъ возрастать до нѣкотораго максимальнаго значенія, зависящаго отъ индуктивнаго сопротивленія цѣпи,

средняго значенія приложенной Э.Д.С. и величины промежутка времени, въ теченіи котораго она была приложена, скорость возрастанія тока будетъ наибольшей въ тотъ моментъ, когда Э.Д.С. достигаетъ своего максимума и токъ, проходящій по цѣпи будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше промежутокъ времени въ теченіи котораго дѣйствовала Э.Д.С.

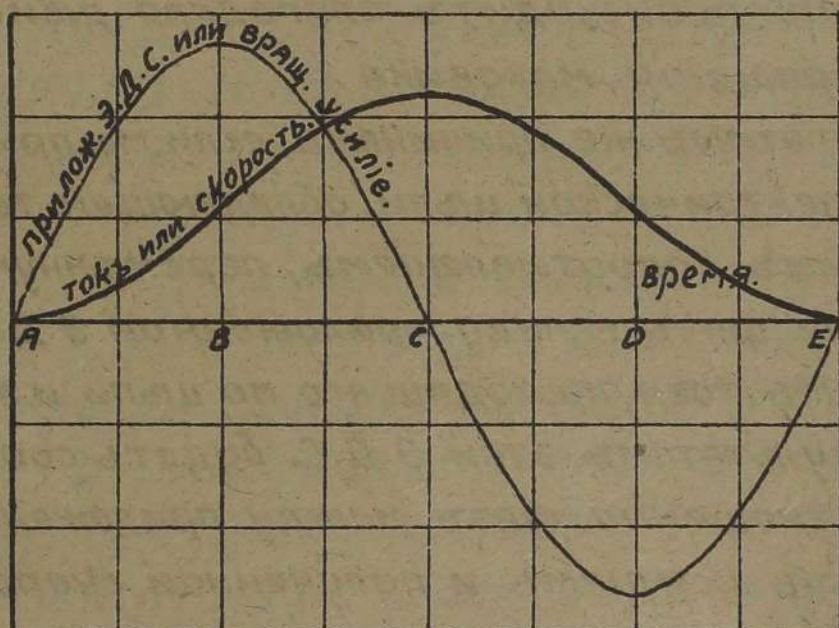
Такимъ образомъ кривыя начерченныя на фигуру 72 при только что описанныхъ условіяхъ могутъ также изображать и результаты, полученные въ электрической цѣпи, причемъ кривая вращающаго усилія можетъ изображать дѣйствующую Э.Д.С., а кривая скорости - токъ, являющійся результатомъ этой Э.Д.С.

240. Продолжимъ теперь этотъ опытъ и въ точкѣ „С“, когда вращающее усиліе падаетъ до нуля, мы опять приложимъ вращающее усиліе, но въ обратномъ направленіи; усиліе это будетъ возрастать съ такой же скоростью какъ и раньше до своего максимальнаго значенія въ точкѣ „D“ и затѣмъ будетъ снова падать до нуля въ точкѣ „E“ (фигура 73). Предположимъ что время, которое требуется для этого противоположнаго процесса, а именно: время СЕ, равно времени, которое требовалось для перваго процесса, а именно: времени АС.

241. Въ точкѣ „С“, гдѣ вращающее усиліе упало до нуля, валъ вращается съ своей максимальной скоростью такъ, что благодаря моменту вращенія маховика, результатомъ приложенія вращающаго усилія въ обратномъ направленіи будетъ

не вращеніе вала въ обратномъ направленіи, а только **УМЕНЬШЕНІЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНІЯ ВАЛА**; въ этомъ случаѣ **быстрота уменьшенія скорости** будетъ зави- сѣть отъ величины **противодѣйствующаго** вращаю- щаго усилія, поэтому **быстрота уменьшенія скорости** будетъ **МЕНЬШЕ ВЪ НАЧАЛѢ**; когда **противодѣйствующее** усиліе начинаетъ **возрастать** до момента „D“, когда **противодѣйствующее** вра- щающее усиліе достигаетъ своего **максимума**, бы- строта паденія скорости маховика будетъ больше и онъ **остановится** въ точку „E“, когда **противодѣй- ствующее** усиліе будетъ приложено въ теченіи та- кого же періода времени, какъ **АБ**.

242. Если этотъ процессъ прикладыванія увели- чивающагося и уменьшающагося вращающаго уси- лія, направленаго то въ одну то въ другую сто- рону повторять черезъ опредѣленные промежут- ки времени, то мы получимъ такіе же результаты



фигура 73.

какіе мы имѣли въ точкахъ „А“ и „Е“, причемъ они будутъ безконечно повторяться. Разсматривая эту кривую, мы увидимъ, что какъ уже было сказано выше, быстрота возрастанія скорости (указанная крутизной наклона кривой скорости) будетъ всегда наибольшая въ тотъ моментъ, когда приложенное вращающее усилие (указанное высотой кривой) достигаетъ своего максимума въ томъ случаѣ (указанномъ высотой кривой скорости), когда вращающее усилие будетъ приложено въ теченіи самого продолжительнаго промежутка времени въ одномъ и томъ же направленіи.

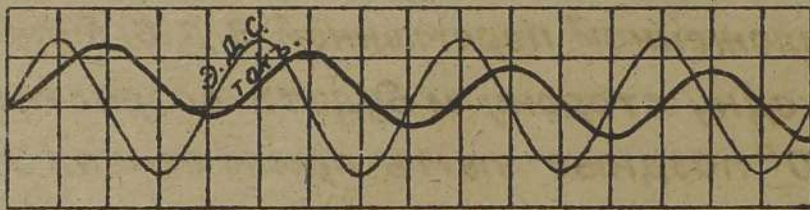
243. Кроме того слѣдуетъ отмѣтить еще одинъ пунктъ, а именно: что скорость достигаетъ своего максимальнаго значенія черезъ четверть періода, т.е. 90° , послѣ того момента когда вращающее усилие достигаетъ своего максимума. Поэтому можемъ сказать что скорость вала **ЗАПАЗДЫВАЕТЪ** на 90° по отношенію къ вращающему усилию. Это запаздываніе происходитъ благодаря дѣйствию момента вращенія маховика.

244. По этимъ же причинамъ, если мы приложимъ къ электрической цѣпи, обладающей только индуктивнымъ сопротивленіемъ, переменную Э.д.с., то отношеніе фазъ между приложенной Э.д.с. и возрастаніемъ тока, проходящаго по цѣпи и являющагося результатомъ этой Э.д.с. будетъ соответствовать отношенію фазъ между приложеннымъ вращающимъ усилиемъ и полученной скоростью вращенія вала въ только что описанномъ опытѣ. По этой причинѣ кривыя начерченныя на фигурѣ

72 и 73 могут также изображать приложенную Э.Д.С. и полученный токъ. Такимъ образомъ мы увидимъ, что если цѣпь обладаетъ только индуктивнымъ сопротивленіемъ, то токъ проходящій черезъ эту цѣпь, какъ результатъ приложенной переменнѣй Э.Д.С. будетъ направленъ въ одну сторону и будетъ возрастать и падать на 90° позднѣе чѣмъ приложенная Э.Д.С.

245. Тѣмъ не менѣе это явленіе можетъ происходить точно лишь въ томъ случаѣ, если цѣпь не обладаетъ безындукціоннымъ сопротивленіемъ — условіе, которое неосуществимо на практикѣ. Значеніе любого безындукціоннаго сопротивленія въ цѣпи будетъ заключаться въ томъ, что онъ будетъ уменьшать то максимальное значеніе, до котораго возрастаетъ токъ въ теченіи первой половины того періода, когда приложена Э.Д.С. и будетъ увеличивать скорость съ которой токъ падаетъ въ теченіи второй половины періода, съ тѣмъ результатомъ, что токъ достигаетъ нуля ранѣе того момента когда противодѣйствующая Э.Д.С. достигнетъ нуля, благодаря этому токъ начнетъ возрастать въ противоположномъ направленіи до того момента, когда Э.Д.С. достигнетъ нуля. Въ зависимости отъ того, какъ мало безындукціонное сопротивление, это будетъ увеличиваться съ каждой половиной періода, до тѣхъ поръ пока токъ не достигнетъ равнаго значенія въ обоихъ направленіяхъ, положительномъ и отрицательномъ. Послѣ этого установится постоянное отношеніе фазъ тока съ Э.Д.С., какъ изображено на фигурѣ 74. Если безындукціон-

ное сопротивление очень мало сравнительно съ индуктивнымъ, то токъ будетъ отставать отъ Э.Д.С. на величину весьма близкую къ 90° , но зато ему



Фигура 74.

потребуется большее число периодовъ для того, чтобы установить постоянное отношеніе фазъ.

246. Въ условіяхъ, получаемыхъ въ цѣпяхъ передатчика, обладающихъ малой частотой, дѣйствіе безындукціоннаго сопротивления не имѣетъ значенія, а поэтому мы стараемся уменьшать его.

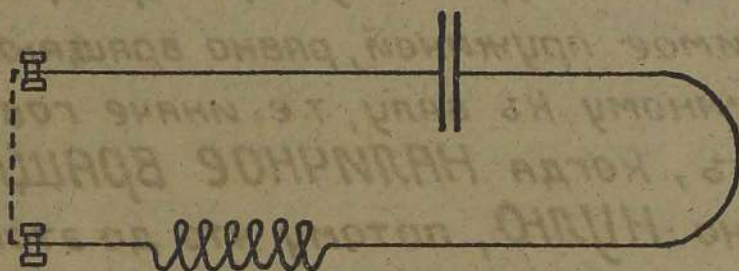
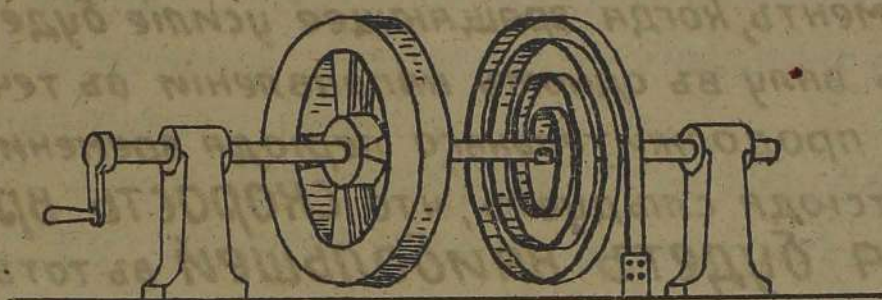
Глава тридцать четвертая.

Дѣйствіе резонанса на отношеніе фазъ.

247. Четвертый опытъ: Отмѣтивъ сперва дѣйствіе емкости, а затѣмъ индуктивнаго сопротивления цѣпи на отношеніе фазъ между Э.Д.С. и токомъ, мы можемъ теперь приступить къ анализу результатовъ, которые мы получимъ, если приложимъ переменную Э.Д.С. къ цѣпи, обладающей одновременно емкостью и индуктивнымъ сопротивленіемъ.

248. Такая цѣпь будетъ аналогична механической системѣ, изображенной на фигурѣ 75. Эта система состоитъ изъ вала, на которомъ имѣется маховикъ и кромѣ того, придѣ-

ланъ одинъ конецъ пружины, въ то время какъ другой конецъ этой же пружины крѣпко при-
дѣланъ къ какому-нибудь неподвижному пред-
мету.



Фигура 75.

249. Если мы приложимъ равномерное вра-
щающее усилие къ этому валу, то этимъ мы снова
приведемъ его въ состояніе вращенія. Въ этомъ
случаѣ **вслѣдствіе дѣйствія пружины**,
какъ только валъ начнетъ вращаться, пружина
начинаетъ оказывать противодѣйствующее вра-
щающее усилие, съ тѣмъ результатомъ, что ког-
да приложенное вращающее усилие будетъ
равномерно, дѣйствительное вращающее уси-
ліе будетъ уменьшаться пропорціонально числу
оборотовъ вала. Чѣмъ дольше вращается валъ,
тѣмъ больше противодѣйствующее вращаю-
щее усилие, производимое пружиною и тѣмъ

меньше поэтому дѣйствительное вращающее усилие.

250. Вслѣдствіи **ИНЕРЦІИ МАХОВИКА**, придѣланнаго къ валу, скорость съ которой онъ вращается возрастаетъ лишь постепенно и будетъ большею въ тотъ моментъ, когда вращающее усилие будетъ приложено къ валу въ одномъ направленіи въ теченіи наиболѣе продолжительнаго періода времени (см. § 236). Отсюда слѣдуетъ, что **СКОРОСТЬ ВРАЩЕНІЯ ВАЛА** будетъ **НАИБОЛЬШЕЙ** въ тотъ моментъ, когда противодѣйствующее вращающее усилие производимое пружиной, равно вращающему усилию приложенному къ валу, т.е. иначе говоря въ тотъ моментъ, когда **НАЛИЧНОЕ ВРАЩАЮЩЕЕ УСИЛІЕ** равно **НУЛЮ**, потому что до этого момента дѣйствительное вращающее усилие стремилось вращать валъ въ томъ направленіи, въ которомъ валъ началъ вращаться.

251. Такъ какъ приложенное вращающее усилие обладаетъ равномернымъ значеніемъ, а обратное вращающее усилие, производимое пружиной постепенно возрастаетъ вмѣстѣ съ вращеніемъ вала, то отсюда слѣдуетъ, что **БЫСТРОТА ВОЗРАСТАНІЯ** скорости вала при дѣйствіи маховика, будетъ наибольшею въ тотъ моментъ, когда вращающее усилие только что приложено, потому что въ этотъ моментъ вращающее усилие обладаетъ наибольшимъ значеніемъ; а мы показали въ § 236, что быстрота возрастанія скорости пропорціональна величинѣ вращающаго усилія.

252. Если поэтому, мы начертимъ кривую, изо-

бражающую возрастание скорости вала при приложенномъ равномерномъ вращающемъ усилии, то эта кривая начнетъ возрастать отъ нуля по крутому наклону и хотя она будетъ все время подниматься вверхъ, крутизна будетъ становиться все меньше и меньше благодаря уменьшенію наличнаго вращающаго усилія.

253. Теперь противодѣйствующее вращающее усиліе, производимое пружиной, пропорціонально числу оборотовъ вала, а поэтому очевидно, что скорость съ которой увеличивается противодѣйствующее вращающее усиліе будетъ наибольшей въ моментъ наибольшей скорости вала; поэтому кривая изображающая возрастание противодѣйствующаго вращающаго усилія при этихъ условіяхъ будетъ возрастать отъ нуля сначала съ отвѣснымъ наклономъ, который постепенно будетъ становиться все круче и круче въ связи съ возрастаніемъ скорости вала, потому что крутизна этой кривой изображаетъ СКОРОСТЬ ВОЗРАСТАНІЯ противодѣйствующаго вращающаго усилія.

254. Если мы поэтому начертимъ кривыя, изображающія результаты полученные изъ вышепроведеннаго опыта, то въ точкѣ гдѣ противодѣйствующее вращающее усиліе, производимое пружиной, сравнивается съ приложеннымъ вращающимъ усиліемъ, кривыя примутъ форму, показанную на фигурѣ 76, причемъ тонко начер-



фигура 76.

ченна́я кривая изображаетъ скорость, съ которой вращается валъ, которая будетъ сначала быстро возрастать отъ нуля, а затѣмъ все болѣе и болѣе медленно до момента В, гдѣ наличное вращающее усилие равно нулю, а линия нанесенная пунктиромъ изображаетъ возрастание противодѣйствующаго усилия, производимаго пружиной. Дѣйствительное вращающее усилие является въ любой моментъ разницей между приложеннымъ и противодѣйствующимъ вращающимъ усилиемъ.

255. До сихъ поръ мы разсматривали только то, что происходитъ до того момента, когда противодѣйствующее вращающее усилие пружины сравнивается съ приложеннымъ вращающимъ усилиемъ, т.е. иначе говоря до момента В на фигурѣ 76.

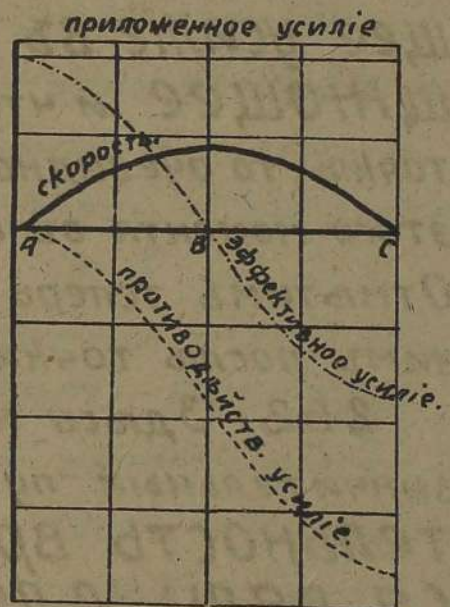
256. Теперь мы показали, что въ этотъ моментъ несмотря на то что наличное вращающее усилие равно нулю, **ВАЛЬ ВРАЩАЕТСЯ СЪ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СКОРОСТЬЮ** и поэтому, если наличное вращающее усилие остается на нуль, валъ вслѣдствіи момента вращенія маховика, будетъ продолжать вращаться съ этой скоростью въ теченіи безграничнаго періода времени (см. § 233), но такъ какъ съ каждымъ оборотомъ вала увеличивается противодѣйствующее вращающее усилие производимое пружиной, то очевидно, что послѣ момента В, даже и въ томъ случаѣ, когда приложенное вращающее усилие будетъ положительно, **НАЛИЧНОЕ ВРАЩАЮЩЕЕ УСИЛИЕ СТАНОВИТСЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМЪ**, т.е. иначе говоря, вмѣ-

сто того, чтобы содѣйствовать вращенію вала оно направляетъ его въ противоположную сторону.

257. Отсюда слѣдуетъ, что послѣ момента „В“ валъ вмѣсто того, чтобы продолжать вращаться съ равномерной скоростью, будетъ постепенно замедляться, хотя нѣкоторое время онъ будетъ еще находиться въ состояніи вращенія. Теперь скорость съ которой уменьшается вращеніе, зависитъ отъ величины противодѣйствующаго вращающаго усилія (см. § 241), а такъ какъ величина противодѣйствующаго скручивающаго усилія вначалѣ очень мала и постепенно возрастаетъ, то отсюда слѣдуетъ, что скорость вала падаетъ сначала очень медленно, а затѣмъ все скорѣе и скорѣе благодаря тому что противодѣйствующее вращающее усиліе увеличивается и наконецъ валъ совсѣмъ останавливается.

258. Мы можемъ продолжить нашу кривую скорости послѣ момента „В“, какъ изображено на фигурѣ 77, на которой видно, что на практикѣ въ точку В кривая становится горизонтальной, а затѣмъ становится все круче, направляясь внизъ до тѣхъ поръ пока въ точку С она не достигнетъ нуля, когда валъ прекращаетъ вращаться.

259. Противодѣйствующее вращающее усиліе, производимое пружиной, будетъ



фигура 77.

какъ мы уже показали, возрастать за все время вращенія вала въ одномъ и томъ же направленіи) поэтому оно будетъ возрастать положительно до точки С.

Тѣмъ не менѣе скорость его возрастанія будетъ наибольшей тогда, когда валъ вращается съ максимальной быстротой, т.е. иначе говоря, въ точку В и скорость его возрастанія будетъ становиться все меньше и меньше и будетъ наконецъ наименьшей въ тотъ моментъ, когда валъ остановится, иначе говоря въ точку С. Мы можемъ поэтому продолжить кривую, изображающую возрастаніе усилія пружины противодѣйствующаго вращающему, какъ показано пунктиромъ на фигурѣ 77, которая круче въ точку В и горизонтальна въ точку С.

260. Кривая, изображающая наличное вращающее усиліе, можетъ быть также продолжена; для этого мы должны вычесть противодѣйствующее усиліе пружины изъ вращающаго усилія, какъ мы уже дѣлали раньше.

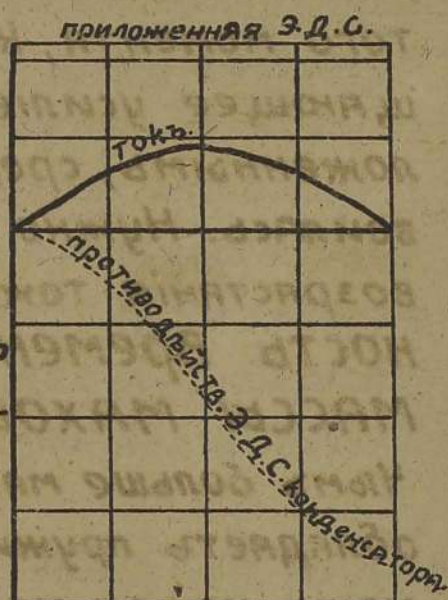
261. Благодаря тому, что противодѣйствующее усиліе въ точку С больше чѣмъ вращающее и что валъ останавливается въ этой точкѣ, то очевидно, что валъ начнетъ вращаться съ этого момента въ противоположномъ направленіи. Отмѣтимъ теперь тѣ результаты, которые мы получимъ послѣ точки С.

262. Здѣсь нужно отмѣтить одинъ очень значительный пунктъ, а именно: продолжительность времени, которая требуется валу для того, чтобы увеличить свою скорость и потомъ остано-

вительсья, явленіе которое происходитъ между точками А и С, продолжительность эта абсолютно не зависитъ отъ величины приложеннаго къ валу вращающаго усилія. Такъ напримѣръ въ только что описанномъ опытѣ приложенное вращающее усиліе было удвоено, а продолжительность промежутка времени осталась неизмѣнной. Это происходитъ оттого, что хотя двойное число оборотовъ и должно было быть сдѣлано валомъ до того момента, когда противодѣйствующее вращающее усиліе пружины сравнялось бы съ приложеннымъ, средняя скорость вала тоже бы удвоилась. Нужно отмѣтить, что и средняя скорость возрастанія тоже бы удвоилась. Продолжительность времени всецѣло зависитъ отъ массы маховика и гибкости пружины. Чѣмъ больше маховикъ и чѣмъ большей гибкостью обладаетъ пружина тѣмъ больше промежутки времени между моментомъ, когда валъ начинаетъ вращаться и моментомъ, когда валъ останавливается; и обратно: чѣмъ меньше маховикъ и тверже пружина, тѣмъ короче этотъ промежутокъ времени.

263. Этотъ промежутокъ времени извѣстенъ подъ названіемъ естественнаго періода времени или точнѣе говоря, половины естественнаго періода системы и играетъ значительную роль, какъ мы покажемъ въ слѣдующемъ опытѣ, въ случаѣ періодическаго переменнаго вращающагося усилія, приложеннаго къ валу.

264. Мы получимъ точно такіе результаты, если приложимъ постоянную Э.Д.С. къ цѣпи, обладающей емкостью и индуктивнымъ сопротивленіемъ. Въ этомъ случаѣ токъ быстро возрастетъ сначала, затѣмъ все болѣе и болѣе медленно, до тѣхъ поръ пока онъ не достигнетъ своего максимальнаго значенія въ тотъ моментъ, когда напряженіе конденсатора сравняется съ приложенной Э.Д.С. Послѣ этого момента токъ начинаетъ падать, сначала медленно потомъ все быстрѣе и быстрѣе, до тѣхъ поръ пока онъ не достигнетъ нуля, въ то время какъ противодействующая Э.Д.С. конденсатора будетъ возрастать до тѣхъ поръ, пока токъ будетъ поступать въ конденсаторъ. На фигурѣ 78 кривыя изображаютъ приложенную Э.Д.С. и противодействующую Э.Д.С. конденсатора, или какъ ее обыкновенно принято называть для отличія отъ приложенной Э.Д.С. „емкостное сопротивленіе конденсатора.“



фигура 78.

265. Далѣе мы увидимъ, что въ каждой цѣпи току требуется опредѣленный промежутокъ времени для того, чтобы достигнуть своего максимальнаго значенія, а затѣмъ упасть до нуля, этотъ промежутокъ времени извѣстенъ подъ названіемъ естественнаго періода цѣпи, кото-

рый абсолютно не зависит отъ приложенной Э.Д.С. и зависитъ исключительно только отъ индуктивнаго сопротивленія и емкости цѣпи.

266. Кроме быстроты возрастанія емкостнаго сопротивленія конденсатора, мы должны отмѣтить интересную и имѣющую большое значеніе разницу между этими результатами и тѣми, которые мы получили въ случаѣ конденсатора, заряженнаго цѣпью, не обладающей индуктивнымъ сопротивленіемъ. Въ послѣднемъ случаѣ, какъ показано во второмъ опытѣ, описанномъ въ § 222, конденсаторъ заряженъ только Э.Д.С., РАВНОЙ приложенной Э.Д.С., въ то время какъ въ только что описанномъ случаѣ конденсаторъ заряженъ Э.Д.С. **ВДВОЕ БОЛЬШЕЙ** чѣмъ приложенная Э.Д.С. На первый взглядъ это явленіе кажется страннымъ, но оно легко объяснимо, если мы будемъ исходить изъ точки зрѣнія накопленія энергіи.

267. Если мы приведемъ маховикъ въ состояніе вращенія, приложивъ къ валу вращающее усиліе, то этимъ мы накапливаемъ энергію въ маховикъ до тѣхъ поръ, пока мы будемъ продолжать увеличивать скорость вращенія вала. Такимъ образомъ маховикъ, вращающійся съ нѣкоторой скоростью, обладаетъ нѣкоторымъ количествомъ накопленной энергіи, но если мы отнимемъ эту энергію отъ маховика, то скорость его вращенія уменьшится. Очевидно поэтому, что если мы не будемъ отнимать энергіи у маховика, но вмѣстѣ съ тѣмъ не будемъ прибавлять къ нему новой энергіи, то онъ будетъ вращаться съ равномерной скоростью въ теченіи

Безконечно большого периода времени, какъ было уже отмѣчено въ опытѣ описанномъ въ § 233. Съ другой стороны, если мы сожмемъ пружину, а мы можемъ это сдѣлать при помощи вращенія вала, къ которому придѣланъ ея центръ, то этимъ мы будемъ накапливать энергію въ пружинѣ до тѣхъ поръ, пока будемъ продолжать сжимать ее, т. е. иначе говоря, въ этомъ случаѣ до тѣхъ поръ, пока будемъ вращать валъ. Но если мы отнимемъ энергію у пружины, то этимъ мы уменьшимъ ея сжатіе, т. е. иначе говоря, въ этомъ случаѣ будемъ вращать валъ въ противоположную сторону.

268. Въ только что описанномъ опытѣ, когда мы прикладывали постоянное вращающее усилие къ валу, на которомъ были расположены маховикъ и пружина то до точки В, фигура ??, мы накапливали энергію и въ пружинѣ и въ маховикѣ, потому что мы увеличивали скорость маховика и одновременно сжимали пружину при помощи вращенія вала, къ которому она придѣлана. Послѣ же точки В мы уже не увеличивали скорость маховика, но наоборотъ **УМЕНЬШАЕМЪ** ее, поэтому энергія, которая собралась въ немъ до точки В начинаетъ выдѣляться изъ него и переходитъ въ пружину, потому что валъ продолжаетъ вращаться, то пружина продолжаетъ накапливать энергію. Въ точку С только что описаннаго опыта маховикъ уже не обладаетъ энергіей, потому что онъ пересталъ вращаться и вся энергія перешла въ пружину, которая въ данный моментъ достигаетъ своего максимальнаго сжатія.

269. Точно также въ электрической цѣпи, обладающей и индуктивнымъ сопротивленіемъ и емкостью въ томъ случаѣ, когда Э.Д.С. приложена къ цѣпи, энергія накапливается сначала въ индуктивномъ сопротивленіи и въ конденсаторѣ. Это происходитъ вслѣдствіе возрастанія тока въ индуктивномъ сопротивленіи, а также вслѣдствіе увеличенія вольтажа конденсатора. После нѣкотораго періода времени, когда Э.Д.С. конденсатора сравнивается съ приложенной Э.Д.С., токъ проходящій черезъ цѣпь, а потому и черезъ индуктивное сопротивление уменьшается, а поэтому индуктивное сопротивление отдаетъ свою энергію. Эта энергія накапливается въ конденсаторѣ благодаря тому, что проводящая Э.Д.С. конденсатора продолжаетъ возрастать.

270. Теперь мы приступимъ къ дальнѣйшему объясненію механическаго опыта, описаннаго въ §§ 247-261 и посмотримъ, какой мы получимъ результатъ, если неожиданно повернемъ приложенное вращающее усиліе въ обратную сторону въ точку С на фигурѣ 77, какъ показано продолженіемъ кривой приложеннаго вращающаго усилія на фигурѣ 79.

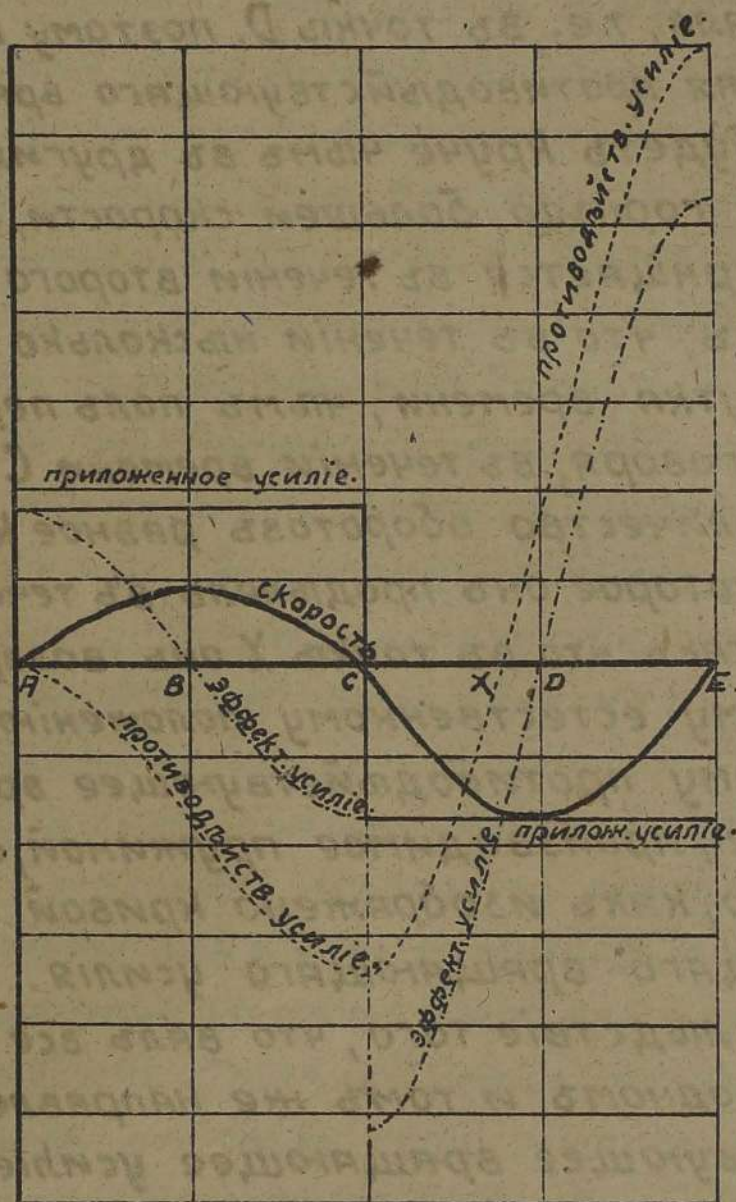
271. Въ точку С валъ, а поэтому и маховикъ уже остановились, поэтому условія касающіеся вращенія вала, соответствуютъ условіямъ, изображеннымъ въ точку А. Если поэтому НАЛИЧНОЕ вращающее усиліе въ точку С имѣло бы одинаковое значеніе какъ въ точку А, но было бы направлено въ противоположную сторону, то валъ на-

чалъ бы вращаться въ противоположномъ направленіи и скорость его ускоренія прошла бы рядъ измѣненій, подобныхъ измѣненіямъ между точками А и С и валъ снова остановился бы въ точкѣ Е, причемъ на это ему потребовался бы такой же промежутокъ времени какъ и въ первомъ случаѣ, когда онъ остановился въ точкѣ С, т.е. иначе говоря, промежутокъ времени АС былъ бы равенъ промежутку времени СЕ.

272. Но въ точкѣ С дѣйствительное вращающее усиліе находится не только въ противоположномъ направленіи, но оно больше чѣмъ въ точкѣ А, потому что въ точкѣ С, когда приложенное усиліе было повернуто въ обратную сторону, то оно дѣйствуетъ въ томъ же самомъ направленіи какъ и противодѣйствующее вращающее усиліе пружины, такимъ образомъ въ этой точкѣ наличное вращающее усиліе равняется приложенному вращающему усилію плюсъ противодѣйствующее вращающее усиліе пружины.

273. Результатомъ этого явленія будетъ увеличеніе скорости вала съ гораздо большей быстротой, чѣмъ раньше, хотя по причинамъ уже изложеннымъ (см. 262) онъ остановится черезъ такой же промежутокъ времени какъ и раньше, т.е. въ точкѣ Е. Очевидно поэтому, что МАКСИМАЛЬНАЯ скорость, которую онъ достигаетъ въ точкѣ D будетъ гораздо больше, чѣмъ въ точкѣ В. Поэтому мы можемъ продолжить кривую скорости, какъ

показано на фигурѣ 79; максимальная высота, которую достигаетъ эта кривая, гораздо больше въ точку В. Другими словами кривая изображающая скорость, будетъ обладать большей амплитудой во второй половинѣ періода чѣмъ въ первой.



фигура 79.

274. До точки С, въ то время какъ валъ вращался въ положительномъ направленіи, противодѣйствующее вращающее усилие пружины возрастало за время вращенія вала. Послѣ точки С валъ, какъ мы уже показали, вращается въ противоположномъ

направленіи. Очевидно поэтому, что послѣ точки С, противодѣйствующее вращающее усилие, производимое пружиной, уменьшается. По причинамъ, которыя мы уже объяснили, скорость его уменьшенія будетъ наибольшей, при наибольшей скорости вращенія вала, т.е. въ точку D, поэтому въ этой точкѣ кривая противодѣйствующаго вращающаго усилія будетъ круче чѣмъ въ другихъ точкахъ. Вслѣдствіе гораздо большей скорости, съ которой валъ вращается въ теченіи второго періода, мы увидимъ, что въ теченіи нѣскольکو меньшаго промежутка времени, чѣмъ полъ періода СЕ, т.е. иначе говоря, въ теченіи времени СХ, валъ сдѣлалъ количество оборотовъ равное количеству оборотовъ, которое онъ продѣлалъ въ теченіи періода АВ, такъ что въ точку Х онъ возвращается къ своему естественному положенію. Въ этой точкѣ поэтому противодѣйствующее вращающее усилие, производимое пружиной, будетъ равно нулю, какъ изображено кривой противодѣйствующаго вращающаго усилія. Послѣ точки Х, вслѣдствіе того, что валъ все еще вращается въ одномъ и томъ же направленіи, противодѣйствующее вращающее усилие будетъ возрастать до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ своего максимальнаго значенія въ точку Е; это максимальное значеніе будетъ тѣмъ не менѣе гораздо больше чѣмъ достигнутое въ точку С въ концѣ первой половины періода, потому что благодаря большой скорости, съ которой вращается валъ въ теченіе второй половины

періода, число оборотовъ которое онъ дѣлаетъ въ теченіе промежутка $ХЕ$ будетъ гораздо больше, чѣмъ все число оборотовъ которое онъ сдѣлалъ въ теченіи всего промежутка времени $АБ$.

275. По причинамъ, уже описаннымъ нами, противодѣйствующее вращающее усиліе, производимое пружиной будетъ быстро падать до нуля въ точку $Х$ и за все время будетъ быстро возрастать до того момента, когда достигнетъ своего максимальнаго значенія въ точку $Е$. Тѣмъ не менѣе эта максимальная величина въ точку $Е$ была бы въ два раза больше чѣмъ въ точку $С$ и въ четыре раза больше приложеннаго вращающаго усилія.

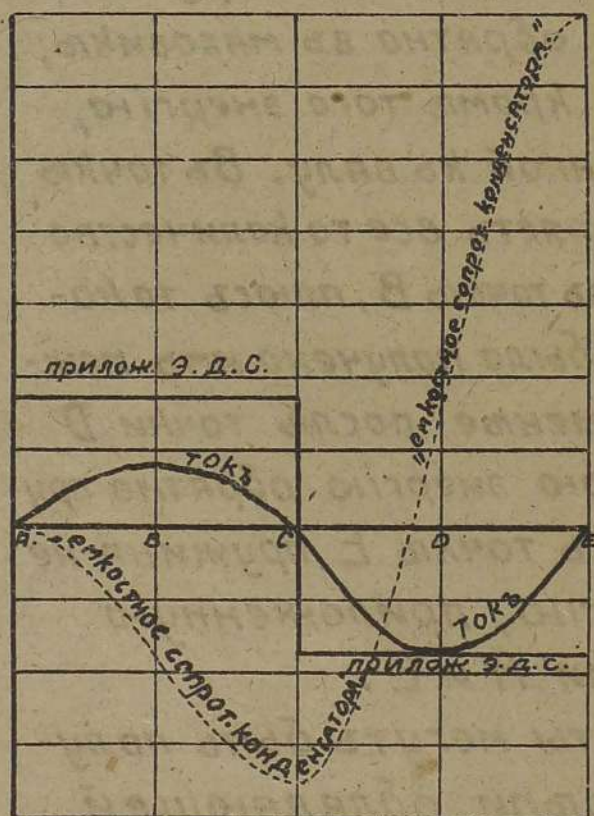
276. Смотри на этотъ опытъ съ точки зрѣнія накопленія энергіи, мы увидимъ, что между точками $С$ и D не только энергія, накопленная въ пружинѣ въ точку $С$, будетъ передана обратно въ маховикъ, но что маховикъ накапливаетъ кромѣ того энергію, получая ее отъ силы, приложенной къ валу. Въ точку D , поэтому маховикъ накапливаетъ все то количество энергіи, которое онъ имѣлъ въ точку $В$, плюсъ то количество энергіи, которое было получено имъ между точками $С$ и D . Тѣмъ не менѣе послѣ точки D онъ начинаетъ отдавать свою энергію обратно пружинѣ, до тѣхъ поръ пока въ точку $Е$ пружина не накопитъ снова всю энергію, приложенную къ системѣ между точками $А$ и $Е$.

277. Такіе же результаты могутъ быть получены въ электрической цѣпи, обладающей индуктивнымъ сопротивленіемъ и емкостью, если мы измѣнимъ направленіе Э. Д. С. прило-

женной къ цѣпи въ тотъ моментъ, когда токъ падаетъ до нуля, какъ описано въ § 264. Поэтому кривая на фигуру 79, изображающая приложенное вращающее усилие, скорость и противодействующее вращающее усилие могутъ также изображать и эквивалентъ электрическихъ факторовъ приложенной Э. Д. С. тока и емкостнаго сопротивленія конденсатора. Во избѣжаніи недоразумѣнія, на фигуру 80 мы снова начертимъ эти кривыя, но онѣ уже будутъ изображать электрическія явленія въ цѣпи.

278. Теперь возвращаясь къ явленію, объясненному въ § 265, что величина приложенной Э. Д. С. не имѣетъ значенія на промежутки времени, въ теченіи которыхъ

токъ возрастаетъ до своего максимальнаго значенія и падаетъ до нуля и что она измѣняетъ лишь то максимальное значеніе, которое достигается токкомъ въ теченіи первой половины періода; очевидно, что если мы приложимъ къ цѣпи въ теченіи промежутка АС, вмѣсто постоянной Э. Д. С. переменную, которая сначала стоитъ на нуль, затѣмъ посте-

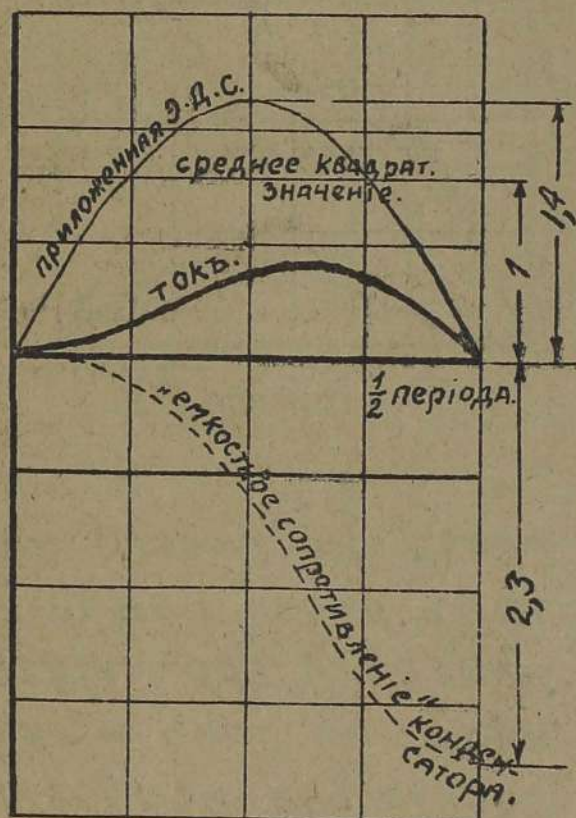


фигура 80.

ленно возрастает до своего максимальнаго значенія, и затѣмъ снова падаетъ до нуля, то полученный токъ будетъ снова постепенно возрастать до нѣкотораго максимальнаго значенія и затѣмъ падать до нуля въ теченіи точно такого же промежутка времени. Если мы теперь начертимъ кривыя, изображающія такую переменную Э.Д.С. и токъ появляющійся въ цѣпи, то они примутъ форму, показанную на фигурѣ 81, гдѣ тонко начерченная кривая изображаетъ Э.Д.С., а жирно начерченная кривая изображаетъ токъ только за полъ періода.

279. Въ предыдущихъ параграфахъ мы показали, что когда въ цѣпи появляется постоянная электро-движущая сила, то емкостное сопротивление конденсатора достигаетъ значеніе, которое въ два раза больше значенія этой Э.Д.С.;

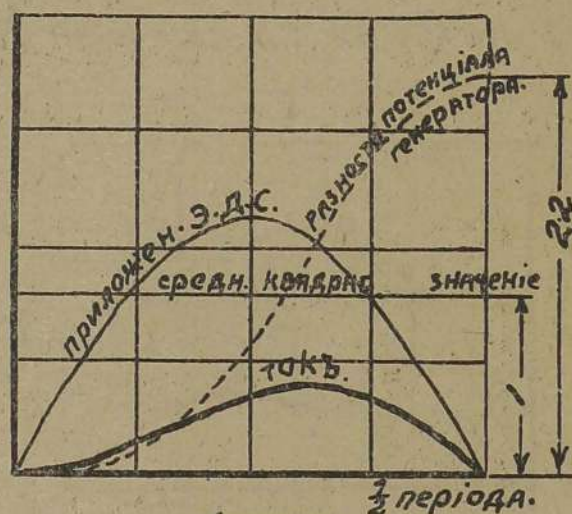
точно также если въ цѣпи появится переменная Э.Д.С., то результатъ получится точно такой же. Мы можемъ показать, что когда періодъ переменной Э.Д.С. дѣйствующей въ цѣпи, совпадаетъ съ собственнымъ періодомъ цѣпи, то въ первой половинѣ періода емкостное сопротивление конденсатора достигнетъ значенія $\frac{\pi}{2}$ максимальнаго значенія приложенной Э.Д.С. или же приблизительно превышаетъ въ 2,3 раза на-



фигура 81.

личное значеніе приложенной Э.д.с. (см. § 113)

280. Мы уже нѣсколько разъ изображали въ различныхъ чертежахъ кривую емкостнаго сопротивленія конденсатора. Въ большинствѣ случаевъ мы изображали кривую емкостнаго сопротивленія на борнахъ генератора (предположивъ, что генераторъ обладаетъ индуктивнымъ сопротивленіемъ) которое замкнуто на конденсаторъ. Генераторъ или трансформаторъ $P. D.$ равенъ емкостному сопротивленію конденсатора, но обладаетъ противоположнымъ направлениемъ и поэтому онъ можетъ быть изображенъ пунктиромъ на обратной сторонѣ абсциссы какъ показано на фигурѣ 82. Такъ какъ благодаря этому создается болѣе



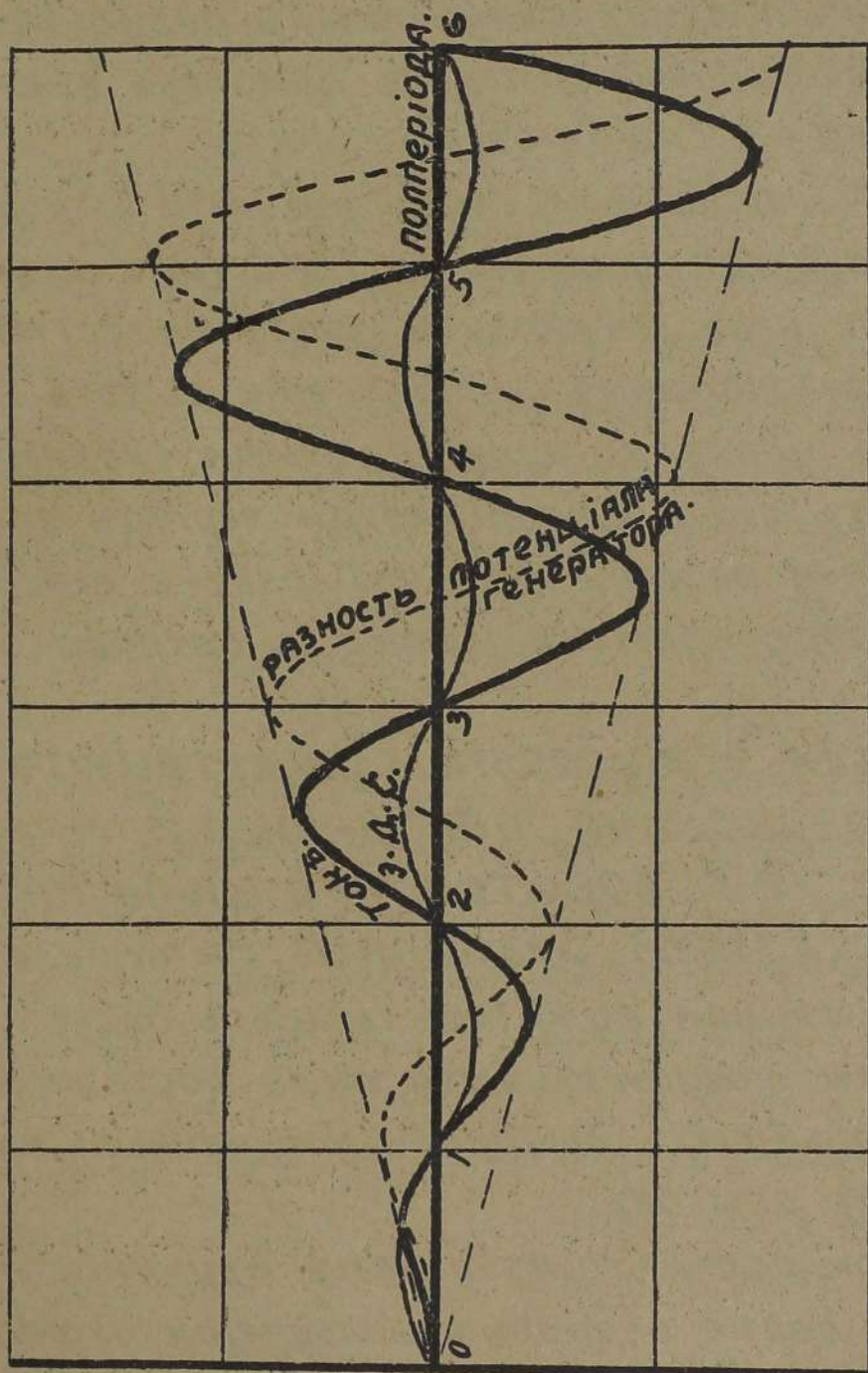
фигура 82.

удобный чертежъ, этотъ способъ будетъ примененъ во всѣхъ будущихъ чертежахъ. Очевидно, что если продолжимъ этотъ опытъ, приложивъ въ точку $G.$ Э.д.с., обладающую противоположнымъ направлениемъ, которая сначала стоитъ на нуль, затѣмъ возрас-

таетъ до своего максимальнаго значенія, а затѣмъ снова падаетъ до нуля въ теченіи одинаковаго промежутка времени, кривая изображающая токъ и генераторъ $P. D.$ будетъ послѣдовательно изображенной на фигурѣ 82, разница будетъ заключаться лишь въ величинѣ различныхъ факторовъ. Другими словами трансфор-

маторъ $P.D.$ и токъ будутъ съ каждымъ полуперіодомъ достигать все большаго и большаго максимальнаго значенія (какъ изображено на фигурѣ 83) но все же ихъ отношенія фазъ къ приложенной Э.Д.С. будутъ такія же, какъ въ первой половинѣ періода.

281. Въ теченіи второй половины періода, а такъ же и въ теченіи послѣдующихъ полуперіодовъ, кривая тока и емкостнаго сопротивленія конденсатора



фигура 83.

будутъ симметричны, потому что въ точкахъ 1, 2, 3 и т. д. емкостное сопротивленіе конденсатора не будетъ равно нулю, какъ это имѣло мѣсто въ точку O , но будетъ приближаться къ своему максимальному значенію, въ то время какъ приложенная Э. Д. С. въ этихъ точкахъ будетъ равна нулю, а въ точку O и приложенная Э. Д. С. и емкостное сопротивленіе конденсатора равно нулю. Прежде чѣмъ приступить къ анализу полученныхъ результатовъ мы считаемъ необходимымъ привлечь вниманіе учащагося на слѣдующій пунктъ.

282. Мы показали лишь результаты полученные тогда, когда приложенная Э. Д. С. (или скручивающее усиліе, какъ это можетъ имѣть мѣсто) повернуто въ противоположное направленіе въ тотъ моментъ, когда токъ упалъ до нуля. Другими словами мы взяли тотъ лишь случай, когда періодъ времени приложенной переменнѣй Э. Д. С. равенъ естественному періоду времени цѣпи, къ которой она приложена.

283. Если эти условія существуютъ въ цѣпи разрядника, обладающей малой частотой, то говорится, что цѣпь находится въ состояніи резонанса. Мы не будемъ разбирать тѣ случаи, въ которыхъ цѣпь будетъ не настроена, мы довольствуемся лишь составленіемъ ряда главнѣйшихъ выводовъ, полученныхъ на основаніи этихъ опытовъ.

284. При болѣе тщательномъ изученіи предыдущаго и болѣе подробномъ изученіи окончательныхъ результатовъ, изображенныхъ на фигурахъ

82 и 83 получаемъ слѣдующіе пункты :

1). Приложенная Э.Д.С. находится въ одинаковой фазѣ съ токомъ проходящимъ черезъ цѣпь. Такимъ образомъ когда приложенная Э.Д.С. достигаетъ своего максимальнаго значенія, то токъ достигнетъ своего максимума въ теченіи этого полуперіода, а когда приложенная Э.Д.С. равна нулю, то токъ равняется нулю.

2). Разница фазъ между емкостнымъ сопротивленіемъ конденсатора и приложенной Э.Д.С. равна $\frac{1}{4}$ полного періода или другими словами 90° , такимъ образомъ когда емкостное сопротивление конденсатора достигаетъ своего максимума въ теченіи любого полуперіода, то приложенная Э.Д.С. равняется нулю. Такъ какъ токъ находится въ одинаковой фазѣ съ приложенной Э.Д.С., то отсюда слѣдуетъ, что емкостное сопротивление достигаетъ своего максимума въ тотъ моментъ, когда токъ равняется нулю.

3). Токъ и также Э.Д.С. конденсатора достигаетъ все большаго и большаго значенія при каждомъ послѣдовательномъ полуперіодѣ и будетъ безгранично возрастать до тѣхъ поръ, пока приложенная переменная Э.Д.С. дѣйствуетъ въ цѣпи.

4). Емкостное сопротивление конденсатора въ концѣ перваго полуперіода достигаетъ значенія превышающаго въ 2, 3 раза эффективное значеніе Э.Д.С. генератора.

285. Какъ было уже раньше указано эти условія дѣйствительны лишь въ томъ случаѣ, когда цѣпь не обладаетъ безындукціоннымъ сопротивленіемъ и когда частота приложенной Э.Д.С. соотвѣтствуетъ естественной частотѣ цѣпи, въ которой она дѣйствуетъ. Фигура 83 изображаетъ отношеніе фазъ, возрастаніе тока и емкостное сопротивление заряженнаго конденсатора въ цѣпи которой нѣтъ потерь и частота альтернатора которой резонируетъ съ цѣпью, съ которой она соединена.

286. Изъ дальнѣйшаго мы увидимъ, что токъ совпадаетъ съ Э.Д.С. въ концѣ перваго полуперіода, въ теченіи котораго нѣкоторое количество электричества поступаетъ въ конденсаторъ и въ то время когда это количество снова переходитъ обратно; въ этомъ противоположномъ направленіи ему содѣйствуетъ приложенная Э.Д.С., которая въ тотъ же моментъ какъ и токъ перемѣнила свое направленіе и производитъ такимъ образомъ дополнительное количество энергіи въ этомъ обратномъ направленіи. Результатомъ этого является то, что колебаніе тока становится все больше и больше и наконецъ становится безконечно большимъ въ то время, когда альтернаторъ вводитъ все большее и большее количество электричества въ цѣпь и электричество не теряется въ цѣпи. Но это явленіе не происходитъ въ любой колебательной цѣпи, оно происходитъ лишь въ томъ случаѣ, когда частота альтернатора равна естественной частотѣ колебательной цѣпи.

287. Если цѣпь обладаетъ какимъ бы то не было безъиндукціоннымъ сопротивленіемъ, а на практикѣ конечно этотъ случай всегда имѣетъ мѣсто, т.к. всѣ цѣпи обладаютъ извѣстнымъ количествомъ безъиндукціоннаго сопротивленія, то тогда очевидно, что часть энергіи будетъ израсходована на преодоленіе токомъ этого безъиндукціоннаго сопротивленія за все то время пока онъ движется по цѣпи.

288. Теперь количество утерянной энергіи зависитъ отъ двухъ причинъ: 1). Количество безъиндукціоннаго сопротивленія цѣпи и 2). количество тока проходящаго черезъ это безъиндукціонное сопротивленіе. Безъиндукціонное сопротивленіе остается неизмѣннымъ въ то время какъ токъ, какъ мы уже показали, возрастаетъ съ каждымъ полъ-періодомъ, поэтому количество утерянной энергіи будетъ также возрастать съ каждымъ послѣдовательнымъ полъ-періодомъ.

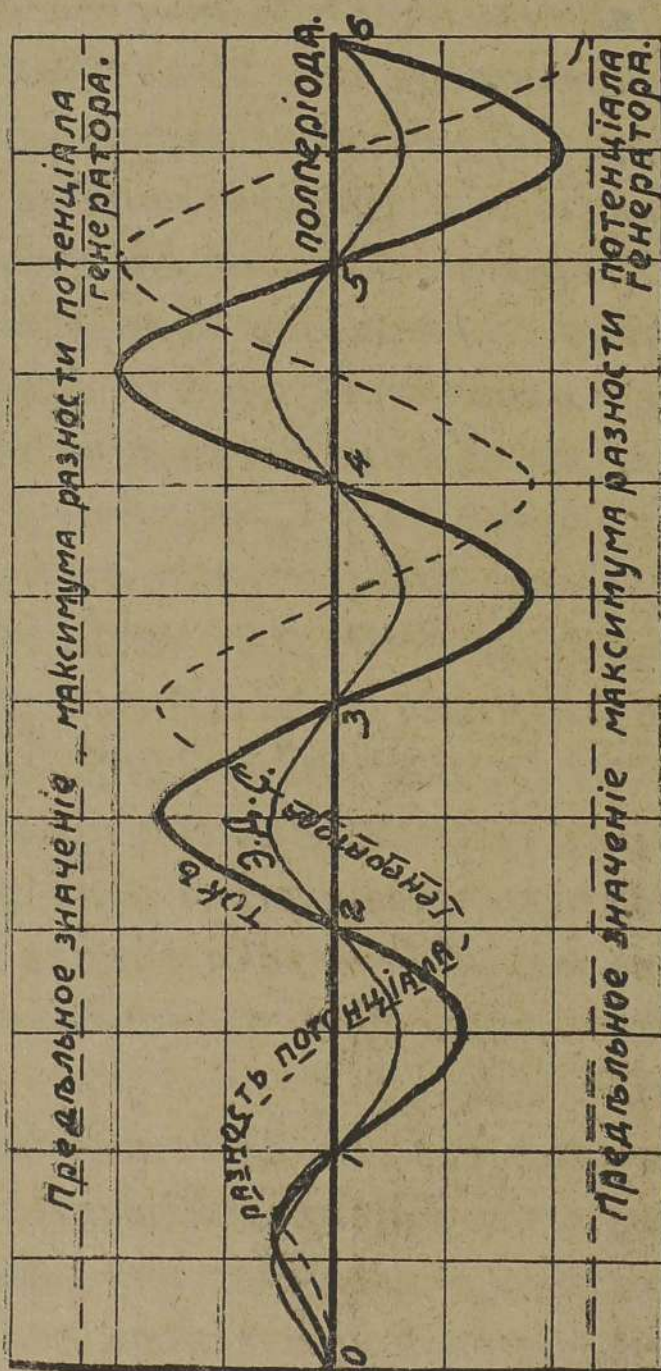
289. Очевидно, что максимумъ тока будетъ достигнутъ тогда, когда количество энергіи утерянной въ цѣпи въ теченіи каждаго полъ-періода будетъ равно количеству энергіи, производимому альтернаторомъ въ теченіи этого полъ-періода.

Другими словами максимумъ тока будетъ достигнутъ тогда, когда альтернаторъ будетъ лишь замѣщать утерянную энергію.

290. Отсюда слѣдуетъ, что дѣйствіе безъиндукціоннаго сопротивленія будетъ заключаться въ томъ, что токъ вмѣсто того чтобы безгранично возрастать съ каждымъ послѣдовательнымъ полу-періо-

домъ будетъ достигать лишь ограниченаго максимальнаго значенія. Отсюда слѣдуетъ также, что и емкостное сопротивленіе конденсатора будетъ достигать лишь ограниченаго максимальнаго значенія.

291. Кривыя изображающія возрастаніе тока и емкостнаго сопротивленія конденсатора при этихъ условіяхъ, изображены на фигурѣ 84, на которой мы увидимъ, что кромѣ кривыхъ, изображающихъ максимальную силу тока и Э.Д.С., всѣ остальные кривыя



фигура 84.

остаются такими же какими онъ были раньше. На этомъ чертежѣ мы изобразили случай, въ которомъ колебанія тока и вольтажа для всѣхъ практическихъ цѣлей достигаютъ своей максимальной силы въ теченіи 3 или 5 полуперіодовъ и это явленіе есть наглядный примѣръ того, что будетъ происходить въ цѣляхъ обыкновеннаго передатчика въ томъ случаѣ, когда искровой промежутокъ достаточно великъ и предупреждаетъ такимъ образомъ какое бы то не было разряженіе конденсатора колебательной цѣпи.

Глава тридцать пятая.

Возбужденіе искровыхъ передатчиковъ.

292. Въ началѣ этой книги мы широко обсуждали методъ возбужденія колебательной цѣпи и показали, какъ можно это выполнить зарядженіемъ конденсатора этой цѣпи, пользуясь искровымъ промежуткомъ, соединеннымъ съ индукціонной катушкой.

293. Хотя индукціонная катушка очень удобна въ этомъ случаѣ и имѣетъ много преимуществъ передъ альтернаторомъ и трансформаторомъ въ небольшихъ установкахъ до 100 ваттъ. Индукціонная катушка теряетъ всѣ свои преимущества, когда требуются болѣе мощные передатчики. Одинъ изъ главнѣйшихъ недостатковъ заключается въ томъ, что трудно достичь достаточнаго числа перерывовъ тока въ первичной цѣпи.

Контакты прерывателя требуютъ постояннаго вниманія даже съ маленькими катушками. При употребленіи мощныхъ ка-