



приборы  
Германн. Электр

Библиотека Гешен

Проф. И. ГЕРМАНН

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ  
УПОТРЕБИТЕЛЬНЫХ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Со 148 чертежами



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
„НАУКА И ЖИЗНЬ“

Русское издание „БИБЛИОТЕКИ ГЕШЕН“

Проф. И. ГЕРМАНН

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ  
УПОТРЕБИТЕЛЬНЫХ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Со 143 чертежами

Авторизованный перевод с последнего немецкого издания  
Инженера В. КЛЕПФЕРА

Второе русское издание



КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО  
„НАУКА И ЖИЗНЬ“  
БЕРЛИН—РИГА

# Содержание.

Введение . . . . .	Стр. 5
--------------------	-----------

## I. Классификация электрических измерительных приборов.

1. Действие измерительных приборов . . . . .	5
2. Назначение измерительных приборов . . . . .	7
3. Внешняя конструкция измерительных приборов . . . . .	9
4. Достоинство измерительных приборов . . . . .	15

## II. Приборы с подвижной катушкой.

5. Действие приборов с подвижной катушкой . . . . .	18
6. Приборы с подвижной катушкой и стрелкой. . . . .	20
7. Измерение тока приборами с подвижной катушкой. . . . .	23
8. Измерение напряжения приборами с подвижной катушкой . . . . .	27
9. Зеркальные приборы с подвижной катушкой. . . . .	31

## III. Приборы с мягким железом.

10. Действие приборов с мягким железом . . . . .	35
11. Приборы с железным сердечником, втягиваемым в катушку. . . . .	36
12. Приборы с двумя отталкивающимися железными телами . . . . .	38
13. Измерение тока приборами с мягким железом . . . . .	39
14. Трансформатор тока . . . . .	43
15. Измерение напряжения приборами с мягким железом . . . . .	44
16. Трансформатор напряжения. . . . .	46

## IV. Гальванометр со стрелкой.

17. Действие гальванометра со стрелкой . . . . .	48
--	----

## V. Электродинамические измерительные приборы.

18. Действие электродинамометров . . . . .	50
19. Измерение мощности электродинамометрами . . . . .	52
20. Измерение тока электродинамометрами . . . . .	55
21. Измерение напряжения электродинамометрами . . . . .	56
22. Электродинамометры Вестона . . . . .	57
23. Электродинамометры Сименса и Гальске . . . . .	59
24. Электродинамометры Гартмана и Брауна . . . . .	63
25. Измерение мощности трехфазного тока . . . . .	65
26. Электродинамические приборы с железными корпусами. . . . .	69

## VI. Индукционные или трехфазные приборы.

27. Действие индукционных приборов. . . . .	71
28. Индукционные приборы с вращающимся полем . . . . .	72
29. Индукционные приборы с блуждающим полем . . . . .	75

	Стр.
30. Измерение мощности индукционными приборами . . . . .	77
31. Измерение тока и напряжения индукционными приборами . . . . .	79
32. Измерение мощности трехфазного тока . . . . .	80

### VII. Тепловые приборы.

33. Действие тепловых приборов . . . . .	81
34. Измерение тока тепловыми приборами . . . . .	83
35. Измерение токов большой частоты . . . . .	85
36. Измерение напряжения тепловыми приборами . . . . .	86
37. Тепловые приборы Гартмана и Брауна . . . . .	88
38. Тепловые приборы других фирм . . . . .	89

### VIII. Электростатические приборы.

39. Действие электростатических приборов . . . . .	92
40. Электроскопы . . . . .	93
41. Многокамерный вольтметр . . . . .	93
42. Статические вольтметры высокого напряжения . . . . .	95

### IX. Приборы особого рода.

43. Указатель направления тока . . . . .	97
44. Указатель направления вращающегося поля . . . . .	97
45. Указатель синхронизма и тождества фаз . . . . .	98
46. Фазометры. Их действие . . . . .	99
47. Фазометр Гартмана и Брауна . . . . .	100
48. Измеритель коэффициента мощности с перекрестной катушкой. Фирмы Сименс и Гальске . . . . .	101
49. Измерители сопротивления, или омметры. Их действие . . . . .	102
50. Омметры для больших сопротивлений (измерители изоляции, мегомметры) . . . . .	103
51. Омметры для малых сопротивлений . . . . .	106
52. Измеритель сопротивления с перекрестной катушкой . . . . .	107
53. Осциллограф . . . . .	108
54. Частотомеры . . . . .	110

### X. Регистрирующие приборы.

55. Действие регистрирующих приборов . . . . .	113
56. Пишущие приспособления . . . . .	114
57. Направление бумаги и пера . . . . .	116

### XI. Электрические счетчики.

58. Назначение счетчиков . . . . .	118
59. Действие моторных счетчиков . . . . .	120
60. Электродинамические счетчики ваттчасов . . . . .	122
61. Индукционные счетчики ваттчасов . . . . .	125
62. Моторные счетчики амперчасов . . . . .	127
63. Счетчики амперчасов без торможения . . . . .	128
64. Счетчики с маятником . . . . .	130
65. Электролитические счетчики . . . . .	133

## Введение.

Целью этой книжки служит дать представление о важнейших измерительных приборах, посредством которых измеряются в настоящее время электрические величины. Методы измерения в ней не разбираются, а объясняется лишь непосредственное применение приборов.

## I. Классификация электроизмерительных приборов.

### 1. Основы действия их.

Известные электрические и магнитные явления обладают механической силой, которой, с помощью особых приспособлений, можно воспользоваться для измерительных целей. Так называемая система измерения основана здесь на движении, в большинстве случаев, вращательном; это движение отмечается стрелкой (обычно), движущейся вдоль скалы, а отсюда определяется вызвавшая его электрическая, или магнитная величина.

Между проводником, по которому идет ток (провода, спираль, катушка), и магнитом (постоянный магнит, намагничиваемое током железо) возникает сила, называемая электромагнитной. Ею пользуются, чтобы заставить вращаться: либо подвижную катушку — с помощью неподвижного магнита, либо, наоборот, подвижный магнит — с помощью неподвижной катушки.

В первом случае берется, обычно, постоянный магнит и между его полюсными наконечниками и (башмаками), помещается маленькая, могучая вращаться катушка, по которой идет ток. Такие приборы называются „приборами с подвижной катушкой“.

Во втором случае мы имеем приборы с подвижным железом (железной пластинкой, железным стержнем), которое магнитизируется проходящим по катушке током и выводится последним из положения покоя. Это — „приборы с мягким железом“.

Далее, бывают приборы с подвижным постоянным магнитом (магнитной стрелкой), отклоняемой из обычного положения „Север-Юг“ током, проходящим по неподвижной катушке. Такие приборы называются „гальванометрами со стрелкой“.

Между двумя проводниками, спиралями, или катушками, по которым идет ток, возникает сила, называемая электродинамической. Ею также пользуются, чтобы заставить подвижную катушку вращаться с помощью неподвижной. Подобные приборы называются „электродинамометрами“. Раньше они конструировались вовсе без железных частей, в последнее же время неподвижную катушку стали вделывать в железо.

Трехфазное поле влияет на подвижный диск, или барабан. Этим пользуются, чтобы посредством неподвижных катушек, по которым проходит ток, заставить этот диск, или барабан, вращаться. Получаются „трехфазные, индукционные приборы, или т. наз. приборы Феррарис“.

Проволока, по которой проходит ток, нагревается и удлиняется. Это удлинение также можно использовать для приведения во вращение ролика со стрелкой. Такие приборы называются „тепловыми“.

Два тела, содержащие электрические заряды, взаимно притягиваются, или отталкиваются. На этом основаны „электростатические приборы“, где вращается какое-либо подвижное тело.

Наконец применяют и электролитическое действие тока для измерительных целей и строят „электролитические приборы“.

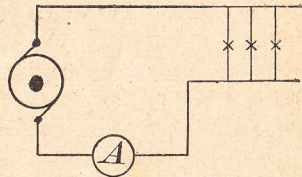
## 2. Назначение измерительных приборов.

Почти все электроизмерительные приборы основаны на действии электрического тока, а потому, по самой природе своей, суть измерители тока, или амперметры.

Для измерения тока амперметр должен быть включен в цепь так, чтобы через него проходил весь ток (черт. 1). (На схемах измерительные приборы обозначены кружками; буква, стоящая внутри последнего, показывает, какие величины измеряются; например,  $A$  = амперы,  $V$  = вольты,  $W$  = ватты). Во избежание, при этом, больших потерь напряжения сопротивление амперметра весьма мало. При прохождении тока стрелка амперметра отклоняется и показывает на шкале силу тока.

Амперметр, назначенный для малой силы тока, называют гальванометром. Если же прибор должен не измерять ток, но лишь указывать его присутствие, то он называется гальваноскопом — показателем тока.

Так как ток стоит в тесной связи с другими электрическими величинами, то приборы, реагирующие на силу тока, могут служить и для измерения этих величин,



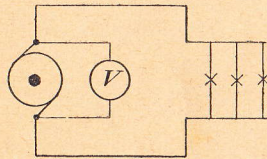
Черт. 1. Включение амперметра.

8 I. Классификация электроизмерительных приборов.

например, для измерения напряжения, следующим образом. В каждом амперметре имеется проводник, или катушка, с определенным омическим сопротивлением, по которым проходит измеряемый ток. Чтобы заставить этот ток проходить через них, необходимо определенное же напряжение, равное, по Закону Оме (см. Электротехнику, часть I), произведению из силы тока на сопротивление. Так как прибор показывает силу тока, то отсюда может быть вычислено и напряжение, действующее у зажимов прибора (мест подвода тока). Чтобы получить измеритель напряжения, или вольтметр, достаточно поместить на шкале прибора, вместо измеряемых им ампер, вычисленные по последним вольты.

Для измерения напряжения соединяют точки, между которыми надо его измерить, с обоими зажимами вольтметра (черт. 2), так что через вольтметр, вследствие действующего на него напряжения, идет ток. Чтобы последний сделать возможно малым, сопротивление вольтметра, обыкновенно, весьма велико. Стрелка отклоняется и показывает на шкале величину напряжения.

Подобным же образом можно определять электрические мощность и работу, сопротивление проводов и изоляции, сдвиг фаз, частоту и вид кривых переменного тока и получить: измеритель мощности, или ваттметр; измеритель работы, или электрический счетчик, называемый, правильнее, счетчиком ваттчасов; измеритель сопроти-



Черт. 2. Включение вольтметра.

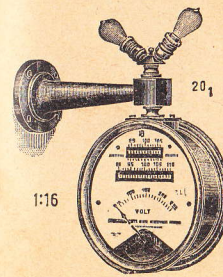
вления, или омметр; приборы для измерения изоляции; (фазометр; частотмер); осциллографы и т. п. В зависимости от того, для какого тока приборы назначены, они называются приборами постоянного, или переменного тока.

Относительно единиц мер см. „Библ. Гешен“, „Электротехника“, часть I. Приложение.

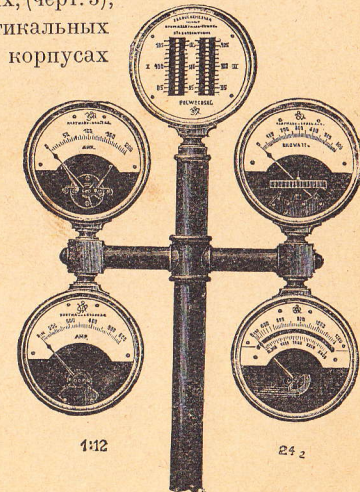
3. Внешняя конструкция измерительных приборов.

Приборы разделяются на неподвижные и переносные.

Первые укрепляются на распределительных досках; на стальных кронштейнах, (черт. 3), или на особых вертикальных стойках (черт. 4), на корпусах моторов, на распределительных ящиках и т. д. Переносные же приборы



Черт. 3. Измерительный прибор на стеном кронштейне.

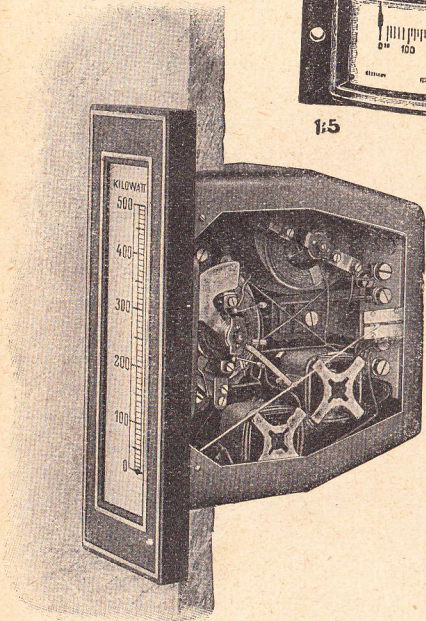


Черт. 4. Вертикальная стойка с измерительными приборами.

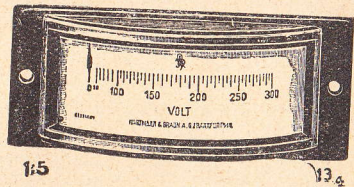
## 10 I. Классификация электроизмерительных приборов.

назначаются для контроля, испытаний и градуирования.

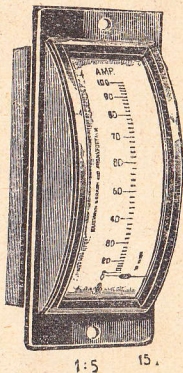
Неподвижно закрепленные измерительные приборы,



Черт. 7. Ваттметр фирмы Сименс и Гальске с плоской профильной шкалой и прямолинейным движением стрелки.



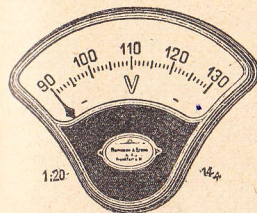
Черт. 6. Вольтметр с круговой профильной шкалой.



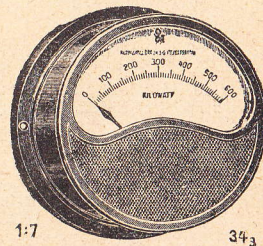
Черт. 5. Амперметр с круговой профильной шкалой.

## Внешняя конструкция измерительных приборов. 11

ную крышку можно видеть дугообразной формы скалу (составляющую, примерно, четверть окружности) и стрелку (черт. 4). Иногда встречаются приборы другой формы, прежде всего профильные приборы (черт. 5, 6 и 7). Преимущество их то, что они занимают меньше места, как на плоскости, так и в высоту. При круговой профильной форме (черт. 5 и 6) скала наносится на боковой поверхности цилиндра, а конец



Черт. 8. Вольтметр секторной формы с неполной шкалой. (Без нулевой точки.)



Черт. 9. Ваттметр для крепления на распределительной доске.

стрелки загибается под прямым углом так, что эта загнутая часть движется как отрезок производящей вдоль скалы. При плоской профильной форме скала прямая (черт. 7) и вращательное движение, на котором основана система измерения, преобразуется, с помощью особого приспособления, в прямолинейное движение стрелки.

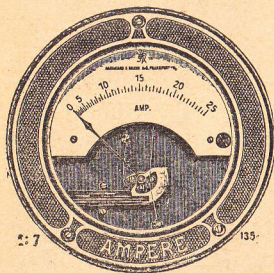
Чтобы получить, при незначительных, сравнительно, размерах, ясно видную издали скалу, при больших установках, например, для вольтметров в большом машинном помещении, применяют секторную форму (черт. 8). При этом скала охватывает лишь пределы

короче называемые приборами распределительной доски, большей частью круглой формы и большего, или меньшего диаметра (в среднем 225 мм.). Через стеклян-

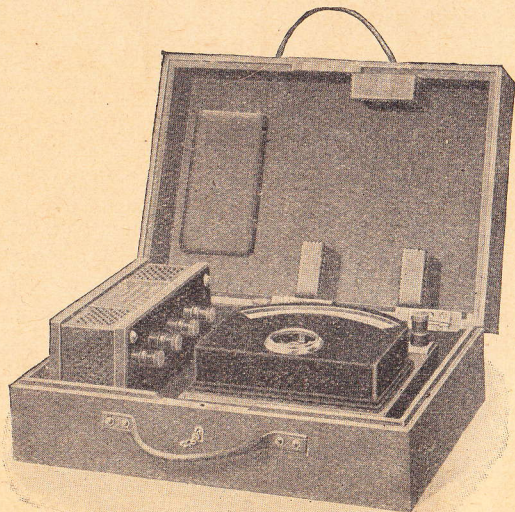
## 12 I. Классификация электроизмерительных приборов.

нормального напряжения, напряжение же нулевое и все следующие за ним, ниже нормального, прибор не показывает.

Материал, из которого делаются коробки оправы приборов, почти исключительно металл — чугун, или протяннутое мягкое железо, предохраняющее, одновременно, прибор от влияния внешних магнитных полей. Край покрываемых черным



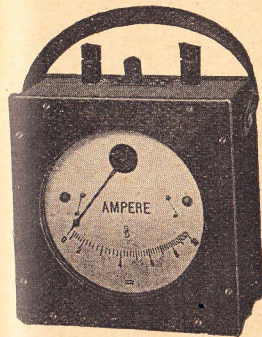
Черт. 10. Амперметр для вделывания в распределительную доску.



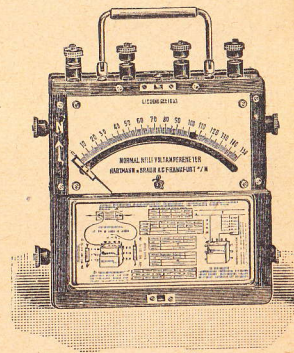
Черт. 11. Измерительный прибор с принадлежностями в переносном ящике. (Сименс и Гальске.)

## Внешняя конструкция измерительных приборов. 13

лаком коробок до войны обыкновенно никелировались, теперь же их эмалируют. Для коробок приборов,

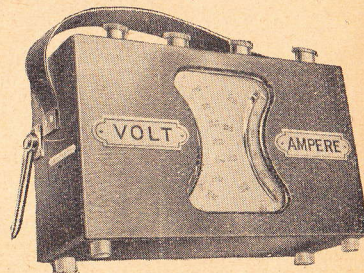


Черт. 12. Амперметр с ремнем для переноски.



Черт. 13. Измерительный прибор в деревянном ящике с ручкой и откидывающейся крышкой.

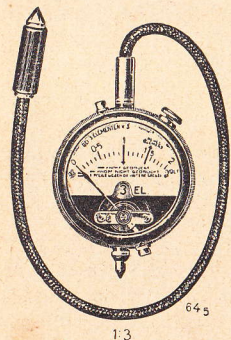
назначенных для реке встречающихся высоких напряжений, применяется роговой каучук (эбонит), или стабилит, искусственный изоляционный материал. Само собой разумеется, что коробки всегда непроницаемы для пыли и сырости. На распределительных досках приборы либо привинчиваются к доске своей нижней поверхностью, либо же вделываются за под-лицо с доской и закрепляются на ней



Черт. 14. Двойной прибор д-ра Пауля Мейера с ремнем для носки.

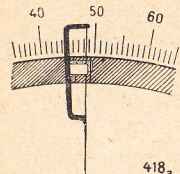


посредством особого кольца или фланца (черт. 10). Ток к приборам подводится почти исключительно с задней стороны, за доской.



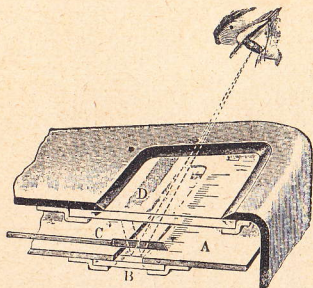
Черт. 15. Вольтметр формата карманных часов.

Внешняя форма **переносных приборов** крайне разнообразна. Часто они помещаются в особых ящиках для переноски, сделанных из дерева, или кожи (черт. 11), причем для измерений прибор из ящика надо вынимать. Часто также коробка самого прибора делается в виде деревянного четырехугольного ящика для переноски, с откидывающейся крышкой, или без таковой, и с рукояткой, или ремнем, для держания. (черт. 12 и 13). Чтобы уменьшить вес, в одном ящике помещают, иногда, два прибора (черт. 14).



Черт. 17. Получение отсчета по стрелке в виде нити и по зеркальной полоске.

На крышке ящика, обыкновенно, помещают схемы включения (черт. 13).



Черт. 16. Получение отсчета по стрелке в виде лезвия ножа и по зеркальной полоске.

Для особых целей имеются также переносные приборы малого формата, не больше карманных часов (черт. 15).

**Указатель** (стрелка) бывает обыкновенно **лапцетовидной формы** с вытянутым острием (например, черт. 10) и делается из металла, или стекла. Иногда ей дают форму поставленного на лезвие, тонкого и острого ножа, чтобы можно было точнее определить положение ее на скале, причем, определяя последнее, надо смотреть **на стрелку** так, чтобы она представлялась резкой, тонкой линией. Чтобы получить еще более тщательные отсчеты в инструментах особенно точных помещают, параллельно со скалой, **зеркальную полоску**, соответствующей скале формы (черт. 13 и 14). На стрелку, беря отсчет, надо смотреть так, чтобы она сливалась с изображением ее в зеркале (черт. 16). В случае бокового освещения брать точные отсчеты по стрелке, в виде лезвия ножа, также очень затруднительно, а потому Г. и Б. применяют при переносных инструментах большой точности стрелку в виде нити, с маленьким осветительным щитком (черт. 17).

#### 4. Достоинство измерительных приборов.

К электроизмерительным приборам предъявляется ряд требований; чем точнее выполняются последние, тем прибор лучше.

Отклонение стрелки должно быть быстрым, совершаться коротким толчком и без колебаний (а периодично). Это достигается тем, что стрелка и вся, вообще, подвижная система делаются возможно легкими, момент же вращения — большим; что касается возникающих (периодических) колебаний, то эти последние уничтожаются с помощью сильнодействующего успокоителя.

Для устранения ошибок при нулевой точке обыкновенно отмечается местоположение ее.

Далее требуется, чтобы трение не препятствовало стрелке доходить до соответствующего места скалы и чтобы малейшие изменения измеряемых величин указывались стрелкой вполне точно. Вследствие этого, во всех приборах, особое внимание обращается на устройство **подшипников** подвижной системы. Обыкновенно хорошо отполированные и обладающие твердостью стекла стальные острия вращаются в чашечках из какого-либо драгоценного камня. Кроме того, как было уже упомянуто выше, момент вращения велик, а вес системы мал.

От градуирования скалы зависит точность отсчета. Деления могут быть подразделены еще на десятые доли. Следовательно, чем грубее градуирование и чем толще штрихи, обозначающие каждое деление, тем менее точен будет отсчет. Градуирование скалы стоит, естественно, в связи с внутренним достоинством измерительного прибора, а потому о последнем можно судить уже по роду скалы и по конструкции стрелки.

Показания прибора должны быть независимы от возможных перемен температуры. В большинстве случаев это достигается тем, что проводники делаются из материала с не меняющимся, в зависимости от температуры, сопротивлением.

Внешние магнитные и электрические поля не должны оказывать влияния на прибор. При переменном токе не должны играть также никакой роли частота и вид кривых. Если в приборах применено железо, то остаточный магнетизм гистерезис и вихревые токи (Фуко) не должны проявляться мешающим образом. Наконец, приборы, построенные для определенного

нормального напряжения, должны давать правильные показания и при изменившемся напряжении; что же касается потребления ими энергии, то это последнее, в особенности у приборов, работающих длительно, должно быть по возможности мало.

Большую часть этих требований от измерительных приборов можно выполнить в достаточной, как мы увидим ниже, степени, если приложить, при постройке их, необходимое старание и труд, не страшась связанных с этим издержек. Часто вовсе не требуется соблюдения всех вышеперечисленных условий, а достаточно из двух противоположных требований удовлетворить тому, которое более важно в данном случае. Так, например, при приборах распределительной доске частота, напряжение сети, температура, электрическое и магнитное состояние окружающего пространства, равно, как и положение самих приборов, остаются, в большинстве случаев, неизменными. Также не требуется от них и точности до 0,1 %, а вполне достаточно, если ошибка в показании не превышает 1 %. Вследствие этого изготовление этих приборов обходится, сравнительно, дешево и, тем не менее, они вполне соответствуют своему назначению — дать надежное и достаточно точное наблюдение, там, где это требуется.

От переносных, монтажных (для установочных работ) и контрольных приборов требуется, напротив того, большая точность; прежде же всего они должны быть применимы при различных обстоятельствах и в различной обстановке, в отношении частоты, напряжения и силы тока.

Еще большей точностью и надежностью должны обладать приборы, назначенные для градуирования и для испытательных помещений.

Наибольшим же совершенством должны отличаться лабораторные приборы, почему их и улучшают постоянно, пользуясь всеми средствами современной техники. Но так как всякое совершенство можно довести лишь до известного предела, то, за этим пределом, должна быть дана возможность, с помощью вычислений и сравнений, корректировать не вполне точные показания прибора.

Каждый прибор следует от времени до времени выверять. Если окажется, что показания его не точны, то составляется особая таблица поправок, или же вычисляется коэффициент поправки, которыми необходимо пользоваться при последующих работах с данным прибором. Если отклонения прибора чересчур велики, то более целесообразно отдать такой прибор на исправление.

В общем современные электрические измерительные приборы в высокой степени точны и надежны.

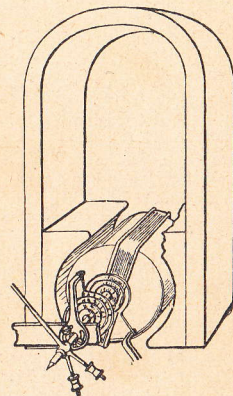
## II. Приборы с подвижной катушкой.

### 5. Основы действия приборов с подвижной катушкой.

На обоих полюсах сильного, подковообразного, постоянного магнита (черт. 18) приделаны полюсные наконечники (башмаки). Наконечники эти цилиндрической формы и охватывают, точно центrovанный, железный цилиндр (массивный, или полый). Между цилиндром и полюсными наконечниками оставлено кольцеобразное междужелезное пространство, немного более 1 мм шириной, в котором образуется мощное, равномерное, магнитное поле с радиально направленными силовыми линиями.

Легкая катушка из проволоки, намотанной на прямо-

угольной рамке, помещена так, что она охватывает цилиндр и может свободно вращаться в междужелезном пространстве. Если пропустить через эту катушку ток, то возникает момент вращения, пропорциональный произведению из пропускаемого тока на силу поля, или же, так как последняя при постоянном магните постоянна, пропорциональный одной лишь силе проходящего через катушку тока. Вращению катушки противодействует направляющая сила, в виде, например, спиральной пружинки (черт. 18), стремящаяся удержать катушку в положении покоя, или же вернуть ее в таковое. Величина этой направляющей силы растет с увеличением угла вращения. Катушка вращается следовательно, до тех пор, пока отклоняющая сила, вызываемая током, не уравнивается противодействием направляющей силы пружинки.

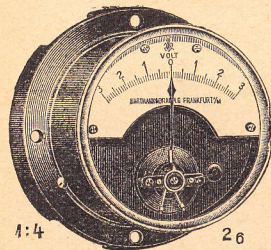


Черт. 18. Схема прибора с подвижной катушкой.

По углу вращения и отклонения можно, следовательно, судить о силе проходящего через катушку тока.

Эта идея была осуществлена прежде всех Вильямом Томсоном (Лордом Кельвином) в его сифоне-рекордере (приемном аппарате для кабельной телеграфии). Первый же измерительный прибор, основанный на этом принципе, был построен в 1881 году Карпантье в Париже, по указаниям Денрэ и д'Арсонваля. Первый прибор со стрелкой был построен им же в 1884 году, по указаниям тех же ученых, почему подобные приборы называют

также Дебрэ-д'Арсонвалевскими. В настоящее время почти все фирмы изготовляют такие приборы с подвижной катушкой, переносные, или же неподвижные.



Черт. 19. Вольтметр с подвижной катушкой и с нулевой точкой по середине шкалы.

При перемене направления тока меняется и направление отклонения стрелки прибора с подвижной катушкой, почему, для переменного тока, приборы эти не пригодны, но могут, зато, служить для указания направления тока, или напряжения при постоянном токе (черт. 19).

### 6. Приборы со стрелкой на подвижной рамке.

Подвижная катушка вращается на двух остриях, прикрепленных к рамке с помощью алюминиевых накладок, или же выточенных на концах стальной оси, проходящей через центр рамки. К катушке неподвижно прикреплена стрелка (указатель), обычно из алюминия (черт. 20, 21 и 22). Стрелка движется по шкале, градуированной совершенно равномерно (черт. 19).

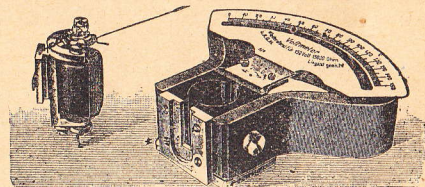
Направляющей силой служат две легкие спиральные пружинки из фосфорной бронзы, момент кру-

чения которых пропорционален углу отклонения. Через эти пружинки подводится к подвижной катушке ток.

Вся подвижная система балансирована так, что центр тяжести ее находится на оси вращения, благодаря чему, при всяком положении прибора, показания его правильны. Такая система необыкновенно легка и весит около 1,5 грамма.

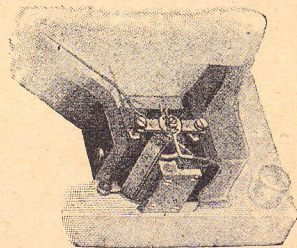
Так как поле в между-железном пространстве обладает большой мощностью, то самого незначительного количества ампервитков достаточно для получения хорошего момента вращения. Уже при токе в  $10^{-5}$  амп. (0,00005 амп.)

получается ясно различимое отклонение. Благодаря такой необыкновенной чувствительности, приборы со стрелкой на подвижной



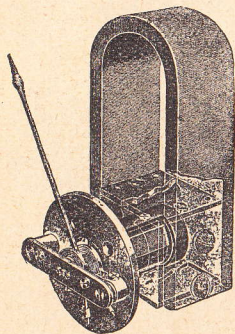
Черт. 21. Внутреннее устройство прибора со стрелкой на подвижной катушке. Завод-Дейта (Надир).

рамке являются весьма ценными, как в качестве лабораторных приборов, так и в качестве приборов распределительной доски (черт. 23 и 24). **Успокоение колебаний** в этих приборах — электро-магнитное и достигается тем, что подвижная катушка наматывается на алюминиевой рамке. При колебаниях катушки край



Черт. 20. Внутреннее устройство прибора со стрелкой и подвижной катушкой. Вестона.

рамки пересекают силовые линии междужелезного пространства, благодаря чему в рамке возникают токи, тормозящие колебания. Успокоение рассчитано так,

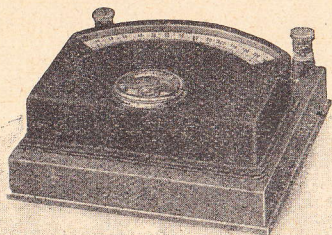


Черт. 22. Внутреннее устройство прибора со стрелкой на подвижной катушке Г. и Б.

что, после одного легкого колебания за точку отсчета, стрелка возвращается назад и останавливается на этой точке.

Для устранения ошибок при нулевой точке, в приборе имеется винт, выходящий наружу. Посредством него можно несколько передвинуть точку закрепления одной из крутильных пружинок и установить, таким образом, стрелку точно на нуль. (Ср. черт. 18).

С помощью магнитного шунта можно изменять силу поля, в котором вращается катушка. Шунт этот состоит

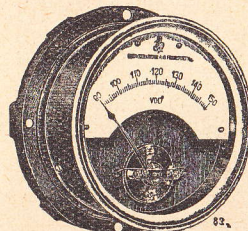


Черт. 23. Прибор Сименса и Гальске со стрелкой на подвижной рамке.

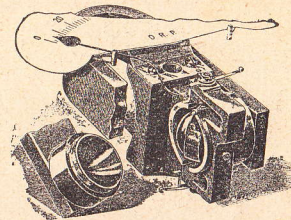
из железного стерженька плоской формы, который можно передвигать и поворачивать у полюсов постоянного магнита, вследствие чего поле междужелезного пространства более, или менее, осла-

бляется. Заводы подземного и морского кабеля

Кельн-Ниппес изготовляют особенные приборы с полюсными наконечниками шарообразной формы и называют их приборами с шаровыми полюсами. Подвиж-



Черт. 24. Прибор Г. и Б. со стрелкой на подвижной рамке.

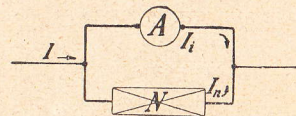


Черт. 25. Внутреннее устройство прибора с шаровыми полюсами Кабельного Завода Кельн-Ниппес.

ная катушка этих приборов круглая, а железный сердечник ее — шар (черт. 25).

### 7. Измерение тока приборами с подвижной катушкой.

Так как подвижная катушка, для уменьшения ее веса, делается из возможно тонкой проволоки легкие же спиральные пружинки могут подводить также лишь небольшой ток, то вышеописанные приборы пригодны для прямого измерения исключительно слабых токов от 0,01 до 0,15 амп. Применяв, однако, так называемый шунт, можно измерять ими любой ток, не стесняясь силой его, так как через прибор проходит не весь ток, но лишь такая его часть, которая допускается конструкцией катушки, остальной же ток минует прибор, проходя через шунт (черт. 26).



Черт. 26. Амперметр с шунтом.

Ток разделяется, следовательно, на две части, из которых лишь одна измеряется прибором, но, так как между этой измеряемой частью и полным током соотношение очень простое, то легко определить и силу полного тока.

Если, например, проводимость прибора мы обозначим  $G_i$ , а проводимость шунта  $G_n$ , то ток  $J$  разделяется на две части  $J_i$  и  $J_n$ , пропорциональные  $G_i$  и  $G_n$ , т. е.:

$$J_i : J_n = G_i : G_n ;$$

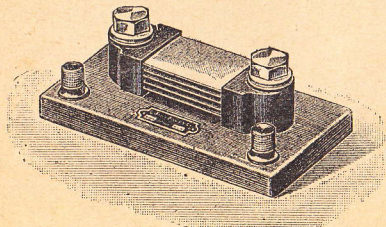
так как  $J = J_i + J_n$ , а  $J_n = J_i \frac{G_n}{G_i}$ ,

то получается:  $J = J_i \frac{G_i + G_n}{G_i}$ .

Введя, вместо проводимостей  $G$ , сопротивления  $R$ , получим:

$$J = J_i \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_n}} = J_i \cdot \frac{R_i + R_n}{R_n}.$$

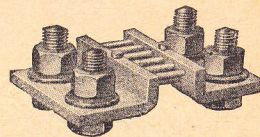
Пример: Если прибор с подвижной катушкой назначен для тока в 0,15 амп., то им можно измерять и ток в 15 амп., если заставить идти через шунт 14,85 амп. Проводимость шунта должна быть, следовательно, в 99 раз больше проводимости прибора. Если сопротивление последнего 1 ом, то сопротивление шунта должно быть  $\frac{1}{99}$  ома.



Черт. 27. Переносный шунт Вестона.

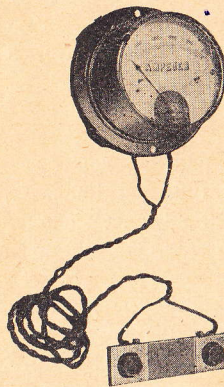
Подобный шунт состоит, обыкновенно, из одной, или нескольких большей, или меньшей длины, пластинок (черт. 27 и 28), сделанных из манганина, никеля, или констан-

тана. У приборов распределительной доски шунт помещается либо внутри самого прибора (при токах, не превышающих 50 амп.), либо же, что очень удобно для монтажки, включается последовательно в главный провод. От его зажимов идут два тонких проводника к помещаемому на распределительной доске прибору (черт. 29). Скала последнего градуирована, конечно, так, что прибор показывает, непосредственно, полный ток.

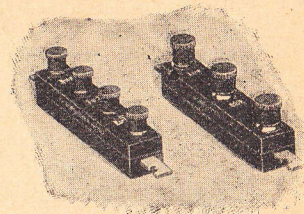


Черт. 28. Шунт для помещения за распределительной доской. Сименса и Гальске.

В переносных приборах шунт, обыкновенно, не вделывается, а присоединяется к прибору по мере надобности. С этой целью изготовляются шунты удобной для обращения с ними



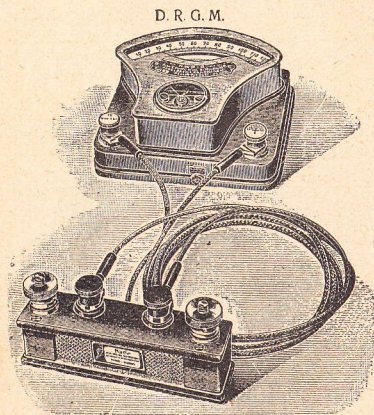
Черт. 29. Амперметр распределительной доски (Д-ра П. Мейера) с шунтом, приделываемым за доской.



Черт. 30. Шунт для переносного амперметра Сименса и Гальске.

формы, причем они, или непосредственно прикрепляются к зажимам прибора (черт. 30), или же от особых зажимов

их идут проводники к последнему (черт. 31). Понятно, сопротивление этих соединительных проводников необходимо принимать во внимание, и именно, как увеличение сопротивления прибора. Фирмы



Черт. 31. Переносный амперметр Завода Дейта (Надир) с отдельным шунтом.

Бывают, также, приборы, в которых вделаны несколько шунтов. С помощью зажимов, штепселей, или рычажков, можно включать тот, или другой, шунт.

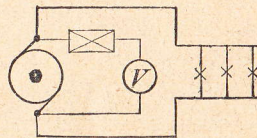
Сопротивление подвижной катушки составляет от 1 до 10 ом; потребляемый ею ток — от 0,03 до 0,15 ампер; затрата энергии на нее — от 0,02 до 0,0002 ватта. В шунте, сопротивление которого равно лишь нескольким частям ома, расходуется, в зависимости от силы тока, от 0,1 до 10 ватт.

произвольно заменять другими. Один и тот же прибор можно, следовательно, применять при любой силе тока, взяв соответствующий шунт. По этой причине скала подобных приборов градуируется не в амперах, но делится на 100, или 150 частей.

### 8. Измерение напряжения приборами с подвижной катушкой.

Приборы с подвижной катушкой весьма пригодны для измерения напряжения, ибо катушка может состоять из большого числа оборотов самого тонкой проволоки. При этом, для получения полного отклонения, достаточно незначительного тока в несколько милли-ампер. Сопротивление катушки нельзя, конечно, делать чересчур большим, вследствие чего непосредственно прибором можно измерять лишь слабые напряжения.

Можно, однако, подобным прибором измерять и напряжения любой высоты, но необходимо взять для этого добавочное, или предвключаемое, сопротивление. Последнее включается так, что ток, идущий через прибор, должен пройти и через это сопротивление (черт. 32), при этом лишь известная часть всего измеряемого напряжения поглощается прибором, остальное же напряжение,  $D_2$ , теряется в добавочном сопротивлении. Прибор измеряет свою часть,  $D_1$ , и, согласно показаниям его, определяется полное напряжение, если известно сопротивление прибора  $R_1$  и добавочное сопротивление  $R_2$ .



Черт. 32. Вольтметр с добавочным сопротивлением.

Соотношение между ними следующее:

$$D_1 : D_2 = R_1 : R_2 ;$$

так как полное напряжение  $D = D_1 + D_2$ , то получается:

$$D = D_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

Пример: Вольтметром, уже при 3 вольт дающим максимальное отклонение, надо измерять напряжения

до 150 вольт. Добавочное сопротивление должно, следовательно, поглощать от 147 до 150 вольт. Если сопротивление прибора 1000 ом, то добавочное сопротивление должно составлять до 49 000 ом.

Еще удобнее произвести подобный расчет при помощи следующего рассуждения: если сопротивление при 3 вольт достигает 1000 ом, то для 150 вольт оно должно быть 50 000 ом. Добавочное сопротивление получается тогда, как разность 50 000 и 1000.

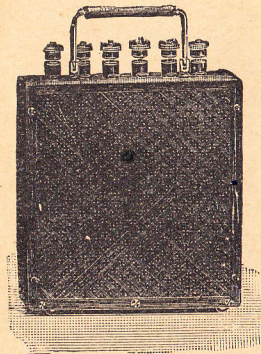
Подобные дополнительные сопротивления делаются исключительно из марганца, никелина, или константана, ибо эти материалы обладают весьма важными для данного назначения качествами: сопротивление их велико (примерно в 30 раз больше сопротивления меди), температурный же коэффициент мал (а именно в 1000 и более раз меньше температурного коэффициента меди).

Когда медная катушка нагревается, сопротивление ее увеличивается, и, при том же напряжении, через нее проходит меньший ток. Нагретый прибор дает, следовательно, меньшее отклонение, чем холодный, при неизменном напряжении. Если же перед катушкой включено сопротивление из марганца, то увеличение общего сопротивления при нагревании несравненно меньше увеличения сопротивления медной катушки в отдельности, и влияние нагревания прибора на точность измерения сводится почти к нулю.

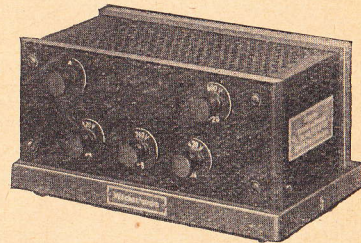
Такие дополнительные сопротивления помещаются либо в самом вольтметре, либо же составляют особый прибор. При высоких напряжениях применяются всегда отдельные дополнительные сопротивления. Конструкция этих сопротивлений следующая: тонкая голая, или изолированная, проволока из одного из вышеуказанных материалов, наматывается на слюдяной диск, фарфоровый ролик, или же на решетчатую (не сплошную, а с отверстиями для вентилирования) рамку.

Чтобы витки не создавали магнитного поля, их либо наматывают как можно ровнее, чтобы не получалось плоскости, в которой могут возникнуть силовые линии, на диск, либо же применяют бифилярную обмотку, при которой одна половина витков намотана обратно другой половине их. В последнем случае уничтожается также самоиндукция, что важно при переменном токе.

Чтобы избежать, по возможности, нагревания при постоянном, или же продолжительном включении прибора, проволоку наматывают лишь в один слой и помещают катушку



Черт. 33. Переносное добавочное сопротивление Г. и Б.



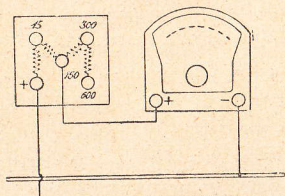
Черт. 34. Переносное добавочное сопротивление для нескольких различных напряжений Сименса и Гальске.

сопротивления в хорошо вентилируемом ящике со сквозными стенками.

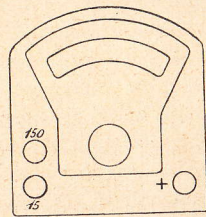
У вольтметров, работающих постоянно с одним и тем же сопротивлением, как, например, у вольтметров распределительной доски, шкала градуирована так, что прибор показывает непосредственно полное напряжение в вольтах. Добавочное сопротивление может помещаться там, где это удобнее, в любом удалении от прибора.



Добавочные сопротивления для переносных приборов (черт. 33 и 34) получают удобную для обращения с ними форму; обыкновенно в одном ящике помещается

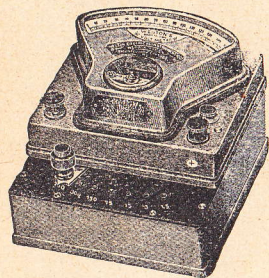


Черт. 35. Вольтметр с различными добавочными сопротивлениями.



Черт. 36. Вольтметр с двумя добавочными сопротивлениями.

несколько различных сопротивлений, которые можно соединять, по мере надобности, с прибором, для каковой цели на ящике с сопротивлениями помещаются, соответственно обозначенные, зажимы (черт. 35). Скала таких инструментов градуируется не в вольтах, а делится на 100, или 150 частей.



Черт. 37. Вольтметр Вестона с семью различными добавочными сопротивлениями.

Для удобства работы строят приборы, которыми можно измерять различные напряжения, причем соответствующие добавочные сопротивления помещаются в самом приборе. С помощью зажи-

мов (черт. 36), штепселей, или рычагов, можно переходить от одного напряжения к другому.

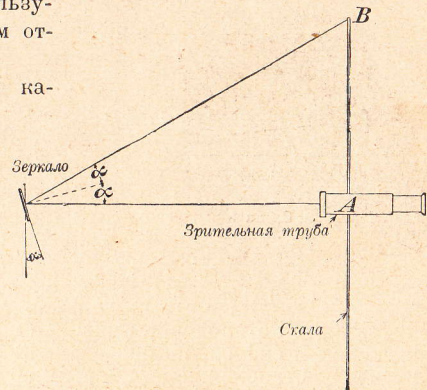
Чтобы предохранить прибор от неправильного вклю-

чения, например, в сеть с напряжением 500 вольт, когда добавочное сопротивление установлено лишь для 10 вольт, что, конечно, прибор испортит, имеются различные приспособления. Так, например, на рычаг, вводящий добавочные сопротивления (черт. 37), действует особая пружина, автоматически выключающая прибор. При вращении же рычага, сначала (при нажатии на первую кнопку), вводится сопротивление для наибольшего напряжения, которое можно измерять, вообще, данным прибором, и лишь затем, последовательно, вводятся сопротивления для напряжений более низких. Расход энергии составляет на 100 вольт около 1 ватта.

### 9. Зеркальные приборы с подвижной катушкой.

Чтобы иметь возможность точно прочесть даже самое малое отклонение, получающееся при измерении весьма слабых токов, пользуются зеркальным отсчетом.

К подвижной катушке приделана, при этом, не стрелка, а маленькое, обыкновенно круглое, зеркальце. Плоскость его вертикальна и вращается, вместе с подвижной катушкой, на

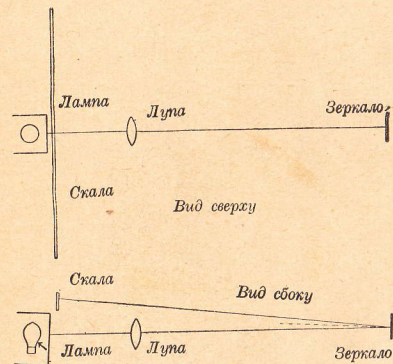


Черт. 38. Схема зеркального отсчета со зрительной трубой.

же оси. Катушка здесь вращается не в подшипниках, но, для увеличения ее подвижности и для уменьшения направляющей силы, подвешена на тонкой нити, или ленте (шелковая, или кварцовая нить; лента из фосфорной бронзы, или серебра).

Отклонение подвижной катушки наблюдается через зрительную трубу. Зеркало катушки здесь плоское и зрительная труба

наводится на отражение в нем неподвижной скалы (черт. 38). При спокойном состоянии катушки в точке пересечения нитей зрительной трубы видна определенная точка скалы. При вращении катушки, и с ней зеркала, на пересечении нитей является кака-либо другая точка скалы. По расстоянию между двумя



Черт. 39. Схема зеркального отсчета с лампой и лупой.

точками скалы определяется угол вращения катушки.

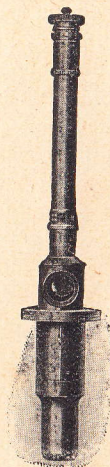
Если угол отклонения зеркала  $\alpha$  и расстояние между зеркалом и скалой, по перпендикуляру, равно  $l$  мм., то величина отклонения  $AB$ , наблюдаемая по скале (см. черт. 38):

$$AB = l \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \text{ мм.}$$

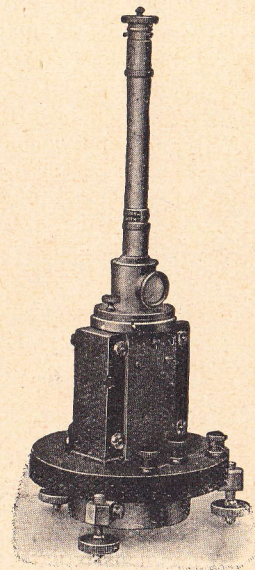
При весьма малых  $\alpha$  можно считать  $AB$  пропорцио-

нальным углом, при отклонениях же более значительных следует вычислять  $\alpha$  согласно этому равенству.

Иногда, вместо плоского, применяется вогнутое зеркало, в этом случае наблюдение производится не



Черт. 40. Вкладная часть (подвижная катушка с подвижным весом и зеркалом) для зеркального гальванометра Сименса и Гальсена.

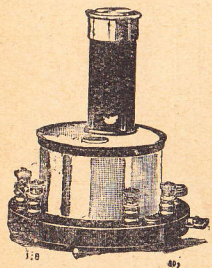


Черт. 41. Зеркальный гальванометр Сименса и Гальсена.

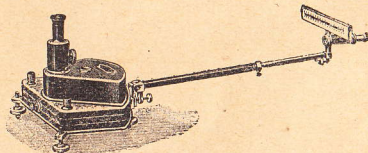
через трубу, но на зеркало направляют световой луч так, что он отражается от зеркала на скалу. При вращении зеркала этот луч движется по скале. Величина отклонения здесь, так же, как и при отсчете с зрительной трубой, служит мерой угла вращения. Источ-

ником света является прямая нить лампы накаливания, отражающаяся на скале в виде резкой светлой черты.

Вместо вогнутого зеркала применяется, иногда, плоское же зеркало и лупа (черт. 39). Черт. 40 и 41 показывают зеркальный прибор с подвижной катушкой (обыкновенно их называют зеркальными гальванометрами) Сименса и Гальске. Подковообразные магниты обращены полюсами вверх. Подвижная катушка, вместе с железным цилиндром вделана в медный остов (черт. 40), точно



Черт. 42. Зеркальный гальванометр Г. и Б.



Черт. 43. Зеркальный гальванометр кабельных заводов Кёльн-Ниспес.

входящий между полюсными наконечниками и который можно легко вынуть и заменить другим, для чего требуется лишь отвинтить два винтика. Ток к катушке подводится, во-первых, через ленту из фосфорной бронзы, на которой катушка подвешена, а, во-вторых, через тонкую, помещенную снизу катушки спираль из серебряной, или фосфорнобронзовой проволоки. Чтобы не повредиться ленте, на которой катушка подвешена, при переноске прибора, надо катушку, предварительно закрепить (арретировать) и разгрузить, таким образом, ленту. Достигается это тем, что катушка снизу нажимается и упирается в верхнюю часть железного

цилиндра. Вся система, в зависимости от назначения прибора, обладает сопротивлением от 10 до 300 ом, а, кроме того, имеется еще добавочное сопротивление (смотря по надобности до 10000 ом), вделанное во вкладную часть прибора.

Чувствительность приборов большего сопротивления такова, что, при удалении скалы на один метр, ток силой  $8 \cdot 10^{-10}$  амп. (0,000000008), дает отклонение в 1 мм. Другие инструменты несколько менее чувствительны.

Посредством регулируемого магнитного шунта можно изменить чувствительность прибора в пределах до 40 %.

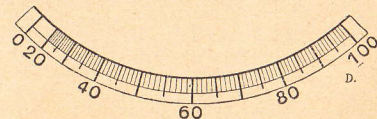
Черт. 42 представляет также весьма чувствительный зеркальный гальванометр Г. и Б., а черт. 43 — подобный же прибор кабельных заводов. В последнем зрительная труба составляет часть прибора.

### III. Приборы с мягким железом.

#### 10. Основы их действия.

В приборах с мягким железом имеется неподвижная катушка и небольшая подвижная часть из мягкого железа. При прохождении через катушку тока, возникающая электромагнитная сила заставляет железную часть изменить ее положение.

Движение это переносится, посредством стрелки, на скалу, вдоль которой движется стрелка. Такие приборы называются также электромагнитными.



Черт. 44. Скала прибора с мягким железом.

Сила, выводящая железную часть из ее первоначального положения, зависит, как от тока, проходящего по катушке, так и от магнитной индукции этой железной части. Так как эта индукция, в свою очередь, находится в зависимости от тока, то действующая сила пропорциональна квадрату тока, проходящего по катушке. Деления шкалы, следовательно, не одинаковы, но пропорциональны также квадратам чисел (квадратическое градуирование). Взяв железную часть соответствующей формы, можно, однако, значительно улучшить шкалу в смысле ее равномерности, как показывает черт. 44.

Преимущество этих приборов то, что они крайне просты и, вместе с тем, прочны. Точность их, конечно, значительно уступает точности приборов с подвижной катушкой, но, тем не менее, она вполне достаточна для распределительных досок и монтажных цепей.

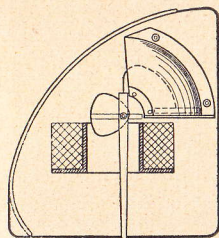
Так как действующая сила не зависит от направления тока, то эти приборы применимы и при переменном токе.

### 11. Приборы с железным сердечником, втягиваемым в катушку.

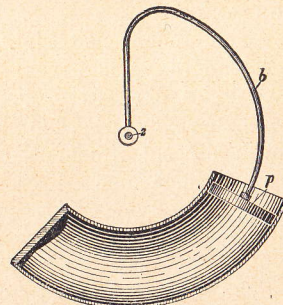
Первый прибор этого рода был изобретен Фридрихом Кольраушем в 1884 году.

Устройство современных приборов с мягким железом этого же рода, изготовляемых Сименсом и Гальске (черт. 45 и 46), следующее: небольшой, тонкий, железный диск, овальной формы (большая ось его имеет 15 мм. и толщина 0,6 мм.) насажен на оси, на другом конце которой приделана легкая стрелка. Диск входит внутрь продолговатой катушки через сделанную в последней щель и, при прохождении по катушке тока, втягивается еще более в нее. Стрелка,

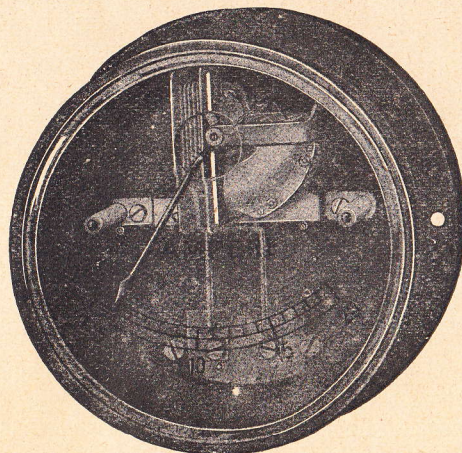
при этом, движется по шкале, которая, благодаря особой форме диска, градуирована более, или менее, равномерно, кроме низших значений ее.



Черт. 45. Схема прибора с мягким железом Сименса и Гальске.



Черт. 47. Воздушный успокоитель Сименса и Гальске.



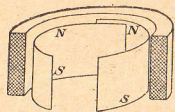
Черт. 46. Прибор с мягким железом Сименса и Гальске.

Направляющей силой служит, в приборах, укрепленных в вертикальном положении, противовес; в других приборах — спиральная пружинка.

Колебания стрелки уничтожаются воздушным успокоителем. Круглый диск (черт. 47) движется по трубке дугообразной формы, закрытой с одной стороны, подобно тому, как движется поршень в цилиндре, толкаемый с одной стороны штангой. Так как диск входит в трубку с весьма малым зазором, то он встречает при этом значительное сопротивление и колебания стрелки подавляются.

## 12. Приборы с двумя отталкивающимися железными телами.

Если поместить внутри катушки два concentрических, изогнутых железных листа (черт. 48), из кото-



Черт. 48. Два изогнутых железных листа в одной катушке.

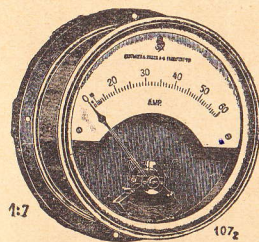


Черт. 49. Два листа отталкиваются друг от друга.

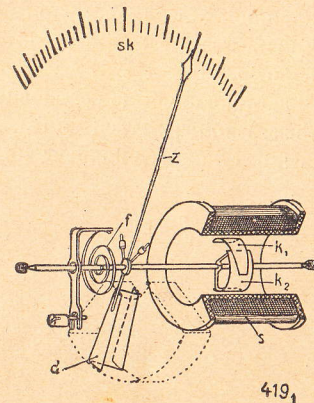
рых один неподвижно закреплен, а другой вращается на оси, то оба они, при прохождении по катушке тока, намагничиваются тождественно, подвижной лист отталкивается от неподвижного и, вследствие этого, вращается. Более наглядно представляет этот принцип черт. 49 (вид сверху).

Приборы этого рода строятся Г. и Б. уже с 1886 года. Черт. 50 представляет прибор с катушкой на горизон-

тальной оси; на горизонтальной же оси, следовательно, вращается и подвижной диск. Направляющей силой служит спиральная пружина, так что прибором можно пользоваться в любом положении его. Колебания успокаиваются следующим, изображенным на черт. 51, образом:



Черт. 50. Прибор с мягким железом Г. и Б.



Черт. 51. Схема прибора с мягким железом Г. и Б.

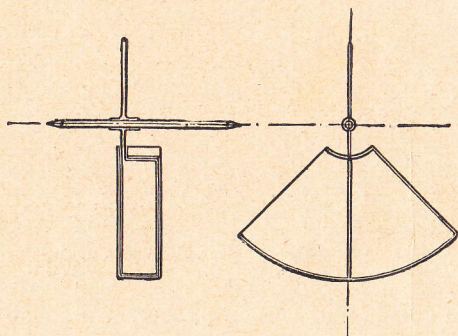
На оси стрелки, на особом рычаге, укреплено крыло ветрянки,двигающееся в камере дугообразной формы, которая вполне закрыта, за исключением узкой щели для прохода рычага (черт. 52). Подобным же образом строят свои приборы А.Е.С., Д-р Пауль Мейер и другие.

## 13. Измерение тока приборами с мягким железом.

Так как катушка, через которую проходит ток, закреплена неподвижно, то она может быть сделана из проволоки любой толщины; чем сильнее ток, тем меньше надо витков для получения нужного действия. Вследствие этого весь измеряемый ток можно пропускать через катушку амперметра и шунт является излишним.

Все же обыкновенно подобные приборы строят для силы тока не более 300 амп.; для токов же более сильных пользуются: при постоянном токе — приборами с подвижной катушкой, а при переменном — приборами с мягким железом, в соединении с трансформатором тока (стр. 43).

Чтобы можно было переносным амперметром с мягким железом пользоваться для измерения токов различной силы, катушка его подразделяется на несколько частей.



Черт. 52. Воздушный успокоитель Г. и Б.

При более слабых токах эти части включаются последовательно, при более сильных — параллельно. Для выбора соответственной схемы включения у таких приборов имеется по несколько зажимов, или же переключатель.

При нагревании катушки, сделанной из медной проволоки, возрастает ее сопротивление, а с ним и трата на нее энергии. На измерение же это обстоятельство влияния не оказывает, так как через катушку, по-прежнему, проходит весь измеряемый ток.

Железные листы намагничиваются различно, в зависимости от силы тока, вследствие чего обнаруживаются явления гистерезиса, состоящие в том, что намагничивание стоит в зависимости от того состояния, в котором находилось железо до этого; если раньше оно было намагничено сильно, то и настоящее намагничивание, вследствие гистерезиса, оказывается более сильным, чем в том случае, когда предшествовали более слабые ток и намагничивание. При одной и той же силе тока, следовательно, прибор дает различные отклонения, в зависимости от того, переходят ли от токов более сильных к более слабым, или же наоборот. Явление гистерезиса оказывает тем меньше влияния, чем мягче железо и чем меньше, по своим размерам, сделанная из него часть. Новейшие приборы этого рода дают совершенно одинаковые отклонения, независимо от степени предшествовавшего намагничивания.

Так как направление тока в катушке прибора с мягким железом не играет никакой роли в смысле действия, которое эта катушка оказывает на железо, и отклонение стрелки происходит всегда в одну и ту же сторону, то этими приборами можно пользоваться и для измерения переменных токов. Переменный ток меняет, в быстрой последовательности (обыкновенно до 100 раз в секунду) свою величину от 0 до положительного, или отрицательного максимума. Вследствие этого и железная часть должна была бы весьма быстро колебаться от положения покоя до наибольшего отклонения и обратно. Однако, вследствие инерции, как самой железной части так и всей, соединенной с ней, подвижной системы, этого не происходит. Получается среднее постоянное отклонение, показывающее силу переменного тока, именно его эффективную величину.

Постоянное отклонение соответствует некоторому среднему моменту вращения, представляющему собой среднее значение мгновенных моментов вращения. Если мгновенная величина тока  $J_{\text{мом}}$ , то мгновенный момент вращения пропорционален квадрату силы тока  $J_{\text{мом}}^2$  (см. стр. 24). Постоянное отклонение  $\alpha$  пропорционально, следовательно, среднему арифметическому всех квадратов силы тока, или

$$\alpha \text{ пропорционально } \frac{1}{T} \int_0^T J_{\text{мом}}^2 dt.$$

Корень этого среднего арифметического называется эффективной величиной переменного тока. Угол отклонения  $\alpha$  измеряет, следовательно, непосредственно эту эффективную величину переменного тока.

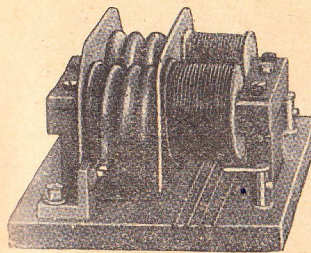
В виду вышеизложенного можно было бы ожидать, что при одинаковой величине постоянного и переменного токов, приборы с мягким железом дают одно и то же отклонение, следовательно, их можно без всяких изменений применять для обоих родов тока; однако, вследствие влияния гистерезиса и вихревых токов в железе, это не вполне так. Названное влияние сказывается в том, что при одинаковой силе с постоянным током, переменный ток вызывает в железе меньшую магнитную индукцию. Отклонение, даваемое приборами при переменном токе, будет, следовательно, несколько меньше, чем при постоянном токе той же силы, и тем меньше, чем выше частота переменного тока. В современных приборах разница в отклонениях при постоянном и переменном токе менее 1%.

Равным образом, при числе периодов переменного тока от 25 до 100 в секунду, не оказывают влияния на прибор частота и вид кривых.

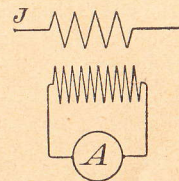
Поглощаемая прибором энергия составляет от 1,5 до 2,0 ватт.

#### 14. Трансформаторы (или преобразователи) тока.

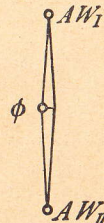
Трансформаторы представляют большое удобство, если нужно данным амперметром измерять токи любой силы, а, кроме того, в установках высокого напряжения, они предохраняют прибор от повреждения. По конструкции своей это небольшие трансформаторы с



Черт. 53.  
Трансформатор тока (Всеобщ.  
Комп. Электр.)



Черт. 54. Схема  
трансформатора с  
амперметром.



Черт. 55. Диа-  
грамма транс-  
форматора.

сердечником из листового железа и двумя обмотками (черт. 53). По первичной обмотке проходит ток, который надо измерить, вторичная же соединяется непосредственно с амперметром и посылает в него ток, точно пропорциональный измеряемому току (черт. 54). Первичная и вторичная обмотки создают равнодействующее поле (черт. 55). Это поле вызывает во вторичной катушке ЭДС, посылающую ток в прибор. Так как сопротивление амперметра мало, то эта ЭДС может быть слабого напряжения (от 1 до 4 вольт), почему и образующееся в трансформаторе равнодействующее поле также очень слабо. Вследствие этого диагоналями параллелограмма (черт. 55) можно пренебречь, ампервитки первичной и вторичной обмоток считать равными

и сказать: отношение первичной и вторичной обмоток обратно числу их витков.

Для уже построенных трансформаторов это справедливо до  $\pm 0,5\%$ . Также и сдвиг фаз между первичной и вторичной обмотками (черт. 55) лишь, примерно, на 15 минут меньше  $180^\circ$ .

Коэффициент трансформации выбирается обыкновенно так, что для измерений нужен амперметр на максимальную силу в 5 амп. С одним и тем же трансформатором могут также быть соединены, последовательно, несколько приборов; например, последовательные катушки измерителя мощности (ваттметра) и счетчика. Поэтому для каждого трансформатора фирмы указывают допускаемую нагрузку, а для каждого прибора — расход на него энергии в вольт-амперах.

Диаграмма черт. 55 показывает еще, что нельзя отключать прибор от вторичной обмотки без особой предосторожности. Если сделать это прямо, то вторичная цепь оказалась бы без тока и первичный ток произвел бы слишком сильное поле. Следствием этого было бы нагревание трансформатора, вызванное весьма большими потерями в железе при высоком насыщении, и слишком большая ЭДС во вторичной катушке.

Из положения выходят тем, что при выключении прибора соединяют вторичные зажимы между собой и таким образом создают вторичные ампер-витки.

### 15. Измерение напряжения приборами с мягким железом.

Катушке вольтметра дается, обыкновенно большое число оборотов возможно тонкой проволоки, так что сопротивление ее очень велико и ток, идущий через нее, не превосходит 0,1 амп. Все же так мал, как при приборах с подвижной катушкой, этот ток быть не может,

ибо для вращения железной части требуется больше ампер-витков, чем для вращения подвижной катушки. Обычно неподвижную катушку рассчитывают примерно на 15 вольт. так что расход энергии составляет около 1 ватта.

Для больших сопротивлений применяется добавочное сопротивление, помещаемое в самом приборе, или же отдельно от него (стр. 27). При переменном токе, вместо добавочного сопротивления, можно пользоваться трансформатором напряжения (стр. 46).

Влияние нагревания измерительной катушки, сделанной из медной проволоки, уничтожается включением добавочного сопротивления с очень малым температурным коэффициентом.

От явлений гистерезиса при увеличении и уменьшении намагничивания вольтметры, как и амперметры, почти вполне независимы.

Вольтметрами с мягким железом можно, конечно, пользоваться и для измерения переменного напряжения, причем они показывают эффективную величину его. В этом случае справедливо то же рассуждение, которое было приведено для амперметров. Отклонения, при одном и том же напряжении, постоянного и переменного токов не вполне одинаковы. Причиной этого служат, как и при амперметрах, гистерезис и токи Фуко. Сюда же добавляется еще и самоиндукция измерительной катушки.

Соотношение между током и напряжением в переменном токе уже не так просто, как в постоянном, где оно подчинялось закону Ома. У переменного тока соотношение это следующее:

$$D = J \sqrt{R^2 + (2\pi NL)^2}.$$



Ток, проходящий по катушке, будет, следовательно, при переменном токе меньше, чем при постоянном токе одинакового напряжения и тем меньше, чем выше частота  $N$  переменного тока. Прибор показывает, таким образом, при одинаковом напряжении переменного тока, тем меньше вольт, чем выше частота переменного тока. При отклонении кривой от синусоидальной формы появляющиеся, вследствие этого, гармонические колебания высшего порядка производят на прибор аналогичное действие.

Для того, чтобы не быть в зависимости от частоты, надо, следовательно, уничтожить влияние индукции  $L$ . Достигается это уже самой конструкцией прибора, при которой катушке дается небольшое число витков имеющих малую площадь. Далее, уменьшить индукцию можно еще включением перед измерительной катушкой большого безиндукционного сопротивления. Поэтому сопротивление, которое и без того необходимо при более высоких напряжениях, не только делается из материала с малым температурным коэффициентом, что уничтожает влияние нагревания (см. выше), но и навивается так, что не развивает индукции (стр. 29). Таким способом, в пределах от 15 до 100 пер./сек., можно вполне уничтожить влияние частоты тока и вида кривой на показания прибора.

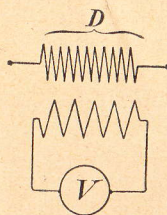
Расход энергии на вольтметр с мягким железом для 100 вольт составляет, примерно, 8 ватт.

### 16. Трансформаторы (или преобразователи) напряжения.

Трансформаторы напряжения дают возможность одним и тем же вольтметром измерять напряжения любой высоты, а, кроме того, они представляют еще и ту выгоду, что предохраняют прибор от высоких напряжений.

### Трансформаторы (или преобразователи) напряжения. 47

В первичную обмотку таких трансформаторов включается высокое напряжение  $D$ , а во вторичную — измерительный прибор (черт. 56 и 57). Вторичная обмотка получает



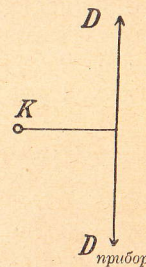
Черт. 56. Схема трансформатора напряжения с вольтметром.

столько витков, что она может развить лишь невысокое напряжение, обыкновенно до 100 вольт. Так как ток в обеих обмотках незначителен, уткой же, в виду хорошего железного контакта в трансформаторе, можно пре-

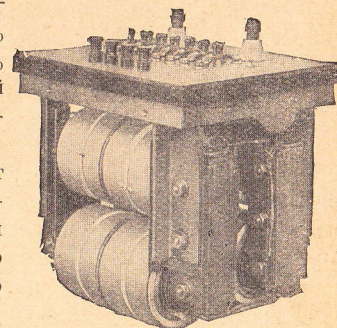
небречь, то отношение первичной и вторичной обмоток пропорционально числу их витков. Точность трансформирования урегулирована минимум до 0,5 % и в пределах между 20 % и 100 % измерительной скалы остается неизменной (черт. 58).

Сдвиг фаз не превышает 10 минут вследствие незначительной утечки и ничтожного омического сопротивления, так что им можно пренебречь.

С одним трансформатором могут быть соединены одновременно несколько приборов; например, кроме вольтметра, еще шунтовые катушки ваттметра и счетчи-



Черт. 57. Диаграмма трансформатора напряжения.



Черт. 58. Трансформатор напряжения Сименса и Гальске.

ков. Допускаемая нагрузка указывается для каждого трансформатора.

Для предохранения прибора от повреждения при коротком замыкании, высокое напряжение включается в первичную обмотку трансформатора через предохранители с легко-плавкой проволокой.

## IV. Гальванометры со стрелкой.

### 17. Основы действия этих приборов.

Первоначальный способ измерения тока был основан на том, что магнитную стрелку, могущую свободно вращаться на оси, подвергали действию спирали, или катушки, по которым проходил ток. Когда в этих спирали, или катушке, не было тока, стрелка устанавливалась в направлении земного поля, при прохождении же по ним тока, она более или менее отклонялась от этого направления. Отклоняющая сила здесь, как и в приборах с подвижной катушкой, пропорциональна току.

К сожалению, направляющая сила этого прибора весьма изменчива. Она зависит от внешнего магнитного поля, в котором находится магнитная стрелка. Сначала это поле одно лишь равномерное земное поле; но, как скоро по близости находятся железные массы, постоянные магниты, или же поля, производимые электрическими токами, сила и направление земного поля, т. е. силы, направляющей стрелку, меняется. Поэтому такие приборы не применимы для измерений в местах, где подобное влияние посторонних полей неизбежно, как, например, в мастерских, на электрических станциях и в других подобных помещениях. Пользоваться ими можно исключительно в лабораториях и то лишь приняв

соответствующие, часто весьма сложные, предохранительные меры.

Вследствие этого непостоянства направляющей силы, шкала гальванометров со стрелкой не может быть градуирована в вольтах, или амперах.

В качестве приборов со стрелкой они снабжаются равномерно градуированной шкалой, причем каждый раз должно быть определено особо, какая сила тока соответствует наблюдаемому отклонению. Такие приборы со стрелкой, под названием гальваноскопов со стрелкой, применяются тогда, когда не требуется точно измерять ток, но лишь установить наличие его; например, при испытании проводов (принадлежат ли друг к другу их концы), или же при определении места повреждения изоляции.

Чувствительность приборов при зеркальном отсчете можно довести до весьма высокой степени, еще более высокой, чем степень чувствительности зеркальных приборов с подвижной катушкой. Тем не менее и из лабораторий приборы эти почти совсем вытеснены приборами с подвижной катушкой, по причине их крайней восприимчивости к внешним влияниям.

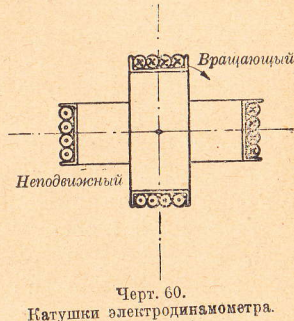
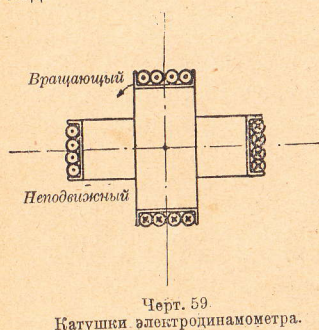
Необходимо упомянуть еще о гальванометре с шаровым панцырем Сименса и Гальске, самом чувствительном приборе, какой только был построен до настоящего времени. Его подвижная магнитная система, весящая всего от 40 до 200 миллиграмм, защищена стальной броней шаровой формы от влияния внешних полей. Движение магнитной стрелки наблюдается по зеркалу.

Для измерения переменного тока гальванометры со стрелкой, естественно, не годятся.

## V. Электродинамические измерительные приборы.

## 18. Основы их действия.

Эти приборы основаны на взаимодействии двух катушек, по которым проходит ток. Одна из катушек закреплена, другая может двигаться. Последняя находится под действием момента вращения, производимого магнитным полем неподвижной катушки.



Момент этот стремится повернуть ее в плоскости действия неподвижной катушки так, чтобы токи в обеих катушках были одного направления, на черт. 59 и 60, следовательно, по направлению стрелки.

Величина момента вращения зависит от тока в обеих катушках и равна произведению силы тока одной катушки на силу тока другой. Если  $J_1$  ток неподвижной катушки, а  $J_2$  — подвижной, то

$$(16) \quad \text{Момент вращения пропорционален } J_1 \cdot J_2.$$

Противодействующей силой служит одна, или две, пружинки, через которые, кроме того, как и в приборах с подвижной катушкой, подводится к подвижной

катушке ток. Угол отклонения подвижной катушки является, таким образом, мерой произведения токов обеих катушек.

Направление момента вращения зависит от направления обоих токов. При изменении направления тока в одной из катушек, отклонение происходит в обратную сторону, если же изменить, одновременно, направление тока в обеих катушках, то сторона отклонения не меняется. Поэтому электродинамические приборы пригодны и для переменного тока. При условии, что инерция подвижной катушки не позволит ей следовать за быстрыми колебаниями переменного тока, устанавливается постоянное среднее отклонение, соответствующее среднему значению всех мгновенных моментов вращения\* (Ср. подобное же рассуждение при описании приборов с мягким железом.) Следовательно:

(17) мгновенный момент вращения пропорционален

$$J_{i \text{ мом}} \cdot J_{b \text{ мом}},$$

(18) средний момент вращения пропорционален

$$\frac{1}{T} \int_0^T J_{i \text{ мом}} \cdot J_{b \text{ мом}} dt.$$

На основании вышеизложенного строятся **амперметры, вольтметры и ваттметры.**

Так как поля в катушках без железа слабы, то на электродинамические приборы легко оказывают влияние и посторонние поля. При измерениях постоянного тока, даже земное поле влияет так сильно, что пренебречь этим обстоятельством нельзя. В таких случаях производят всегда два измерения, при обратных направлениях тока. Переменный ток уничтожает это влияние сам, меняя беспрерывно свое направление;

однако, здесь приходится считаться с посторонними переменными полями, даже и с полями собственных проводов, если сила тока велика. Влияние последних уничтожается тем, что провода подводящий и отводящий ток помещаются, вблизи прибора, непосредственно один около другого. Вследствие слабых полей, моменты вращения всех таких приборов слабы. Для получения, несмотря на это, требуемого действия, нагрузку тока в катушках приходится увеличивать до того, что получается значительное повышение температуры, влияние которого, естественно, также должно быть компенсировано для того, чтобы показания прибора оставались правильными.

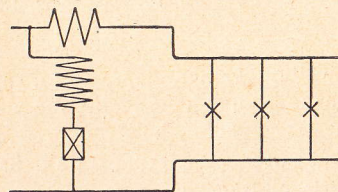
Равным образом надо считаться с токами Фуко, появляющимися при переменном токе в частях прибора, производящими добавочные моменты вращения и вредящими точности показаний. Влияние их уничтожается тем, что при постройке приборов металл либо вовсе не применяется, либо же металлическим частям прибора придают такую форму, или делают их из такого металла, что токи Фуко могут оказать лишь самое незначительное влияние.

Подобные приборы строят, наконец, с частями из листового железа, для получения мощного момента вращения. При этом, конечно, надо принимать во внимание гистерезис и токи Фуко.

### 19. Измерение мощности электродинамометрами.

Наиболее важное применение электродинамометров представляет собой измерение мощности. Через неподвижную катушку пропускается главный ток  $J$ , и она делается, соответственно этому, из толстой проволоки. Подвижная катушка, из тонкой проволоки, и

с большим числом витков, включается, как вольтметр, на напряжение  $D$ , в случае необходимости через добавочное сопротивление (черт. 61). Ток, идущий через подвижную катушку, пропорционален, следовательно, напряжению, а момент вращения — произведению напряжения на силу тока. Поэтому, выражение (16) можно, для постоянного тока, написать в виде:



(19) Момент вращения пропорционален  $J \cdot D$ .  
Черт. 61. Схема включения ваттметра.

Отклонение прибора является, следовательно, мерой мощности, самый прибор — **ваттметром**, или измерителем мощности.

При переменном токе надо принимать меры к тому, чтобы напряжение в подвижной катушке производило ток одинаковой с ним фазы и пропорциональный ему. Достигается это тем, что индукцию этой части прибора делают настолько малой, что ею можно пренебречь в сравнении с ее сопротивлением. Тогда можно в выражении (18), вместо  $J_{\text{мом}}$  поставить напряжение  $D_{\text{мом}}$  и получится

(20) Средний момент вращения пропорционален

$$\frac{1}{T} \int_0^T J_{\text{мом}} \cdot D_{\text{мом}} dt.$$

Заменив в правой части этого выражения (20) мгновенные значения функциями синуса, а именно:

$$J_{\text{мом}} = J_{\text{max}} \sin 2\pi Nt \text{ и } D_{\text{мом}} = D_{\text{max}} \sin (2\pi Nt + \varphi),$$

получим:

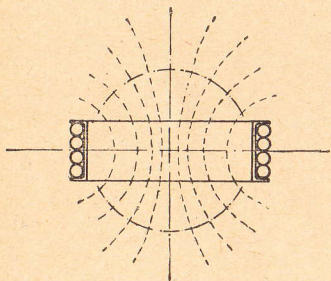
$$(21) \quad \frac{1}{T} \int_0^T J_{\max} \sin 2\pi Nt \cdot D_{\max} \sin (2\pi Nt + \varphi) dt ;$$

выражение это не что иное, как:

$$J_{\text{eff}} \cdot D_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi .$$

Средний момент вращения, а с ним и отклонение, даваемое прибором, представляют собой, следовательно, меру мощности переменного тока.

Скала ваттметра градуируется равномерно, так как, посредством придания катушкам соответствующей формы и надлежащего расположения их, не трудно достичь того,



Черт. 62. Поле плоской катушки.

Чтобы устранить влияние повышения температуры подвижной катушки, сделанной из сильно нагревающейся медной проволоки, перед ней включают значительное добавочное сопротивление из материала с малым температурным коэффициентом. Этим устраняется, одновременно, и влияние индукции катушки. Последнее оказывается следующим образом. Как вытекает из нашего рассуждения, ваттметр измеряет сдвиг фаз тока в неподвижной и подвижной катушках. Если последняя, катушка напряжения, свободна от индукции, то ток, который вызывается в ней этим напряжением,

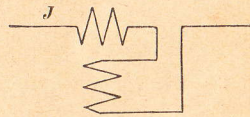
не трудно достичь того, чтобы неподвижная катушка оказывала на подвижную всегда одинаковое, в отношении направления и силы поля, действие, независимо от положения подвижной катушки (черт. 62).

находится в одной с ним фазе и, поэтому, и измеряемый угол будет, все-же, углом между током и напряжением. Тогда справедливо выражение (21).

Если же индукция катушки напряжения более или менее сказывается, то возбуждаемый в ней ток отстает от напряжения на известный угол, вследствие чего ваттметр измеряет сдвиг фаз, меньший действительного на этот угол, и показания его, следовательно, неточны. Поэтому важно возможно уменьшить индукцию, а вместе с ней и сдвиг фаз в цепи напряжения. Это достигается включением добавочного сопротивления, при котором сдвиг фаз не превышает нескольких минут.

## 20. Измерение тока электродинамометрами.

Если включить обе катушки электродинамометра последовательно и пропустить (черт. 63) через них измеряемый ток, то момент вращения, действующий на подвижную катушку, пропорционален при постоянном токе, квадрату силы тока, так как



Черт. 63. Схема включения электродинамометра для измерения тока.

$$J_b = J_l = J .$$

При переменном токе получается выражение (18), если

$J_{b\text{мом}}$  и  $J_{l\text{мом}}$  одинаковой величины, в таком виде:

$$(22) \quad \frac{1}{T} \int_0^T J_{\text{мом}}^2 dt ,$$

представляющем собой не что иное, как квадрат эффективной силы переменного тока. Отсчет электродинамических амперметров служит, следовательно, мерой эффективной величины переменного тока, так же точно, как отсчет, даваемый приборами с мягким железом. Так как в электродинамических приборах железа нет, то их можно градуировать постоянным током и затем

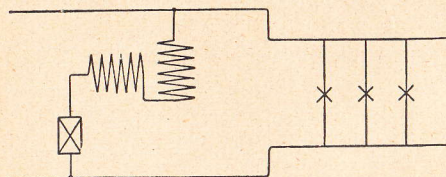
пользоваться градуированной таким образом скалой, для измерения переменного тока. Вид кривой и число периодов не играют здесь никакой роли.

Если скала градуирована в амперах, то деление должно быть квадратическим. Искусственными приемами достигают того, что она, по крайней мере, в значительной своей части более, или менее, равномерна.

Так как подвижная катушка, равно как и пружинка ее, должна быть малого веса, то через них нельзя пропускать сильный ток. Поэтому через катушку проходит лишь часть измеряемого тока. При этом, для получения правильного распределения тока между обоими катушками и правильного момента вращения, необходимо уничтожить, как влияние различных индукций, производимых ответвлениями тока, так и влияние высокой температуры.

### 21. Измерение напряжения электродинамометрами.

Если включить последовательно обе катушки на напряжение, то через них проходит пропорциональный



Черт. 64. Схема включения динамометра для измерения напряжения.

но, квадрату напряжения, а отсчет, даваемый прибором, служит мерой последнего. Деления скалы квадратического характера. Обои катушкам дается в этом случае большое число оборотов тонкой проволоки,

для получения возможно малых потерь энергии в приборе, а, кроме того, при измерении высоких напряжений, включается добавочное сопротивление (черт. 64).

При переменном токе, такие электродинамические вольтметры показывают, само собою разумеется, эффективную величину напряжения.

Чтобы освободить их показания от влияния частоты и вида кривой, необходимо применять большое безиндукционное сопротивление, чем уничтожается, одновременно, и влияние индукции катушек. Так как это добавочное сопротивление делается из материала с малым температурным коэффициентом, то включением его устраняется, кроме того, и влияние изменения температуры измерительных катушек.

При высоких напряжениях можно применять, вместо добавочного сопротивления, трансформатор напряжения. Но в таком случае берется прибор, минимум, на 110 вольт, чтобы иметь возможность включить перед измерительными катушками еще и добавочное сопротивление, для уничтожения в достаточной степени влияния перемен температуры и частоты.

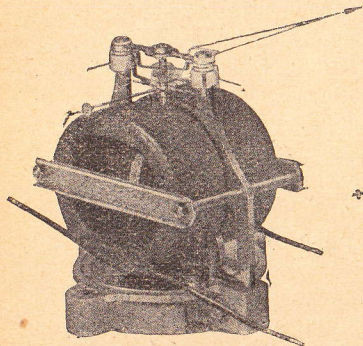
### 22. Электродинамометр Вестона.

Первый электродинамический прибор со стрелкой, катушка которого вращается на остриях, был построен в конце восьмидесятых годов Вестоном, сначала в виде переносного вольтметра; в 1892 году им-же был построен ваттметр.

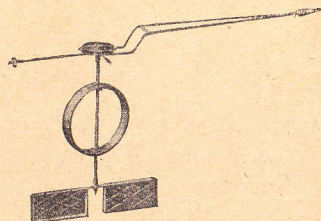
Конструкция электродинамических вольтметров и ваттметров Вестона (амперметров по этому принципу Вестон не строит) следующая.

Неподвижная система (черт. 65) состоит из двух круглых катушек, скрепленных металлической оправой.

Последняя делается из такого металла и получает такую форму, что возникающими незначительными токами Фуко можно пренебречь.

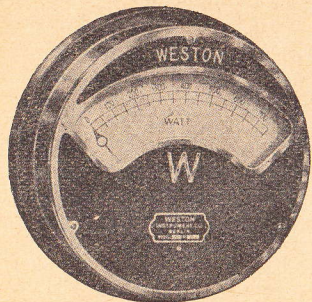


Черт. 65. Внутреннее устройство ватметра Вестона.



Черт. 66. Подвижная катушка ватметра Вестона.

Подвижная катушка (черт. 66) наматывается на шаблон, скрепляется цементом и, по снятии с шаблона, помещается на стальной оси. Снизу последней имеется легкое крыло для воздушного успокоения, а сверху — стрелка, весьма легкой конструкции. Вся подвижная система, включая две пружинки, подводящие ток и, вместе с тем, служащие направляющей силой, весит не полных 2 грамма.



Черт. 67. Ватметр Вестона для распределительной доски.

На концах оси вышлифованы острия, помещающиеся в подшипниках из дра-

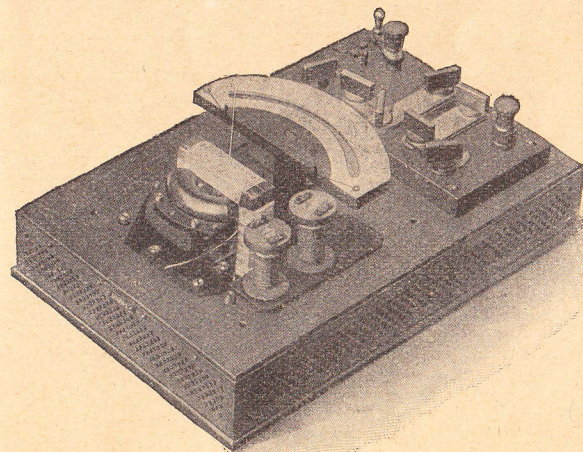
гоценного камня. Таким прибором можно пользоваться в вертикальном и горизонтальном положении их (черт. 67).

Частота и вид кривой, в пределах от 15 до 100 пер./сек., не оказывают на показания прибора никакого влияния.

Измерять прибором, без трансформаторов тока, или напряжения, можно до 750 вольт и до 100 амп. Расход энергии на прибор необыкновенно мал и в ваттметрах для катушки тока составляет менее 1 ватта, а для катушки напряжения, при 110 вольтах, менее 3 ватт.

### 23. Электродинамометры Сименса и Гальске.

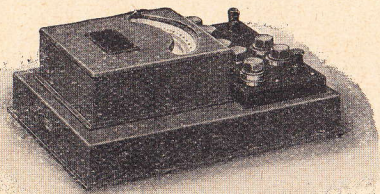
Фирма Сименс и Гальске строит два типа приборов; один лабораторный, для токов от 0,5 до 400 амп. и для



Черт. 68. Переносный ватметр лабораторного типа Сименса и Гальске. Внутренний вид.

какого угодно напряжения, и другой — тип для испытательных помещений, для 5 амп. и для напряжений до 600 вольт; пользоваться им при высоких напряжениях надо с трансформатором.

У лабораторного типа одна неподвижная катушка с прямоугольной площадью витков, для малой силы тока изготовляемых из проволоки, а для силы тока большей 25 амп. — из металлических полос, поставленных на ребро. Катушка разделяется на две части,

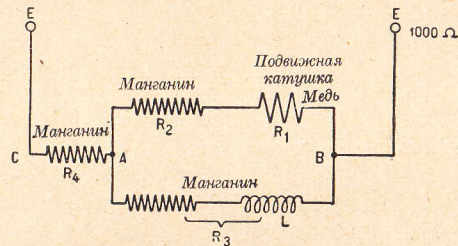


Черт. 69. Переносный ваттметр лабораторного типа Сименса и Гальске. Внешний вид.

которые могут быть включены параллельно, или последовательно, в зависимости от надобности. Для переключения служат либо штепселя, либо накладки свинтами. Для устранения токов Фуко металлических частей у прибора нет.

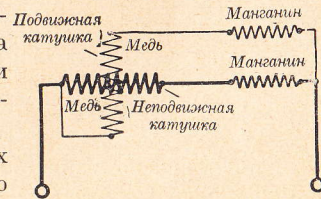
Подвижная катушка, также прямоугольной формы помещается внутри неподвижной. Она весьма малогы веса, вращается на вертикальной оси, острия которой входят в подшипники, и снабжена обычным воздушным успокоителем Сименса и Гальске. При ваттметрах она включается согласно черт. 70. Такое включение имеет целью с одной стороны установить общее сопротивление точно на 1000 ом при 30 милли-амперах, а с другой — уничтожить влияние, как изменения температуры, так и индукции. Влияние температуры компенсируется вполне, впрочем, в том лишь случае, если

включены еще, по меньшей мере, 2000 ом дополнительного сопротивления.



Черт. 70. Схема включения Ваттметра Сименса и Гальске.

При измерителях напряжения обе катушки включаются последовательно. Влияние температуры и индукции устраняется в том случае, если включено дополнительное, в 10 раз большее чем у катушек, сопротивление. Два различных предела измерения получаются с помощью особого штепселя, замыкающего часть дополнительного сопротивления на короткое. Расход энергии составляет при 110 вольтах около 20 ватт.

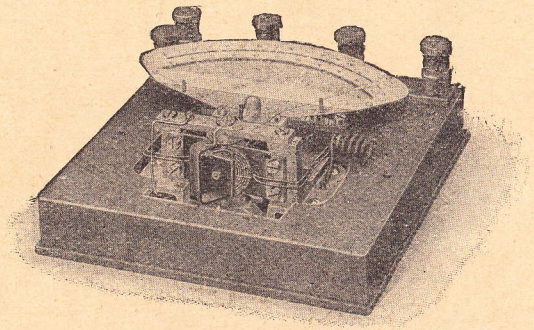


Черт. 71. Схема включения амперметра-динамометра Сименса и Гальске.

При измерителях тока применяется до 0,5 амп., также последовательное включение. При токах же более сильных подвижная катушка включается параллельно неподвижной катушке.



вижной (черт. 71). Безиндукционное сопротивление из манганина, включенное перед обоими катушками, уничтожает влияние увеличения температуры и индукции, причем последнее достигается с такой полнотой, что разница в показаниях при постоянном и переменном (до 100 пер./сек.) токах, не превосходит 0,1%. Расход энергии на прибор составляет от 30 до 40 ватт. Приборы изготовляются для различных пределов измерения.



Черт. 72. Переносный ваттметр Сименса и Гальске. Типа испытательных помещений. Внутренний вид.

Тип для испытательных помещений (черт. 72) получает более удобную для обращения с ним и более простую конструкцию. неподвижная катушка меньше и помещается внутри подвижной. Включение подвижной катушки также проще. В приборе применен металл, таким, конечно, образом, что заметно вредного действия токи Фуко не оказывают. Благодаря этому такие приборы значительно менее чувствительны к толчкам, чем лабораторного типа.

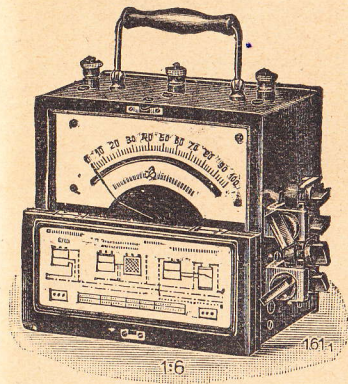
Расход энергии на ваттметр составляет в катушке напряжения около 3 ватт; в катушке тока — около 1,5 ватта.

У вольтметров нет никакой компенсации влияния температуры, а потому их можно включать лишь на короткое время, пока они не нагрелись. Расход энергии на них около 7 ватт при 130 вольтах.

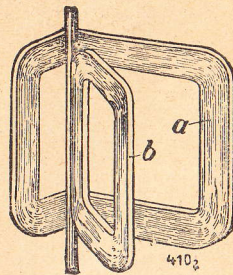
Амперметры включаются так же, как амперметры лабораторного типа, но допускают силу тока лишь до 5 амп., при расходе на них энергии в 6,5 ватт. При токах большей силы необходим трансформатор.

#### 24. Электродинамометры Гартмана и Брауна.

В ваттметрах Гартмана и Брауна (черт. 73) у катушки, по которой идет ток, витки расположены в горизонталь-



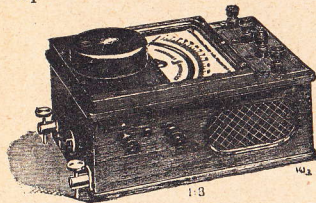
Черт. 73. Ваттметр Гартмана и Брауна в переносном ящике.



Черт. 74. Катушки электродинамометра Гартмана и Брауна

ной плоскости. Внутрь этой катушки вращается на горизонтальной же оси, легкая, прямоугольная, подвижная катушка. Успокоитель у приборов Гартмана и Брауна обычный, воздушный.

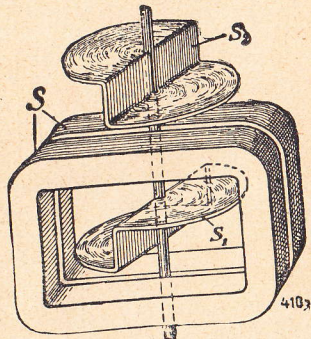
В виде исключения Гартман и Браун строят приборы для очень слабых токов и мощностей, скала которых, у амперметров, как и у вольтметров, градуирована равномерно. Неподвижная катушка последних оригинальной формы (черт. 74), представляющей ту выгоду, что угол отклонения подвижной катушки почти точно пропорционален проходящему по обоим катушкам току. Для большей чувствительности катушка подвешена на короткой металлической ленте, достаточно крепкой, чтобы не повреждаться при переноске (черт. 75), а снизу поддерживается проволочной осью, враща-



Черт. 75. Электродинамометр Гартмана и Брауна большой чувствительности

ющейся, почти без трения, в хорошо отшлифованном драгоценном камне. Металла по близости катушек нет. Обе катушки включаются последовательно. Амперметры строятся на силу тока от 15 милли-ампер до 5 ампер. Нормальные шунты изготавливаются на силу тока до 50 ампер. Пределы измерения напряжения от 2 до 180 вольт.

Для весьма малых мощностей предназначается астатический ваттметр системы Бругера (черт. 76).

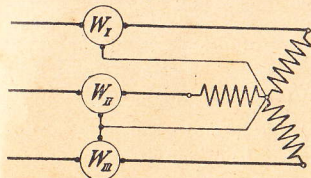


Черт. 76. Внутреннее устройство астатического ваттметра Гартмана и Брауна.

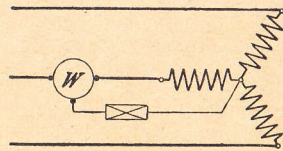
У него две неподвижных катушки, помещенных рядом, которые, в зависимости от требуемых пределов измерения, можно включать параллельно, или последовательно, и две подвижных катушки, помещенных одна над другой; ток проходит по ним в противоположных направлениях, чем уничтожается влияние посторонних полей. Поэтому эти приборы и называются астатическими. Кроме того, они чрезвычайно чувствительны и точны. Строятся они для пределов измерения от 0,5 до 30 ампер и для какого угодно напряжения. Сопротивление обоих астатических катушек составляет 200 ом; нормальный ток в них — 5 милли-ампер. Прибор с сопротивлением в 10 раз большим, т. е. для 10 вольт, независим от температуры и частоты.

## 25. Измерение мощности трехфазного тока.

Для измерения мощности трехфазного тока обыкновенно служат те же ваттметры, что и для измерения мощности однофазного переменного тока. Одно прибора, в большинстве случаев, однако, недостаточно. Всего легче понятен способ измерения при наличии нулевого провода, или же тогда, когда точка сопряжения проводов доступна. В последнем случае на сеть трехфазного тока можно смотреть, как на состоящую из



Черт. 77. Измерение мощности трехфазного тока тремя ваттметрами.

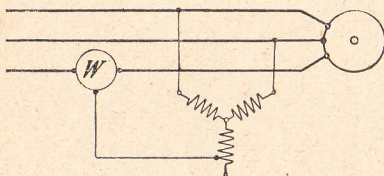


Черт. 78. Измерение мощности трехфазного тока одним ваттметром.

трех однофазных сетей, сходящихся в нулевой точке (Библиотека Гешена, „Электротехника“, часть III). Для измерения мощности требуется, следовательно, три ваттметра, включенных, как показано на черт. 77.

Если, как, например, при нормальных моторах трехфазного тока, можно считать все три фазы одинаковыми, то для измерения достаточно одного прибора, показания которого надо лишь помножить на три (черт. 78).

Если точки сопряжения проводов не имеется, то

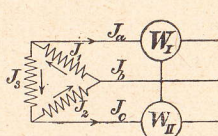


Черт. 79. Измерение мощности трехфазного тока с искусственной точкой сопряжения

можно получить таковую, соединив три, равных между собой, сопротивления звездой, свободные же концы их включив в три провода сети (черт. 79). Часть одного из сопротивлений составляет катушка ваттметра. Показания прибора умножаются, в этом случае, на постоянную, зависящую от величины выбранных сопротивлений.

Такое измерение мощности, с помощью искусственно созданной нулевой точки (посредством, так называемых, „сопротивлений нулевой точки“), само собою разумеется, правильно лишь постольку, поскольку правильно предположение, что нагрузка трех проводов одинакова.

Независимо от такого предположения мощность трехфазного тока можно определить лишь с помощью,



Черт. 80. Измерение мощности трехфазного тока двумя ваттметрами по схеме включения треугольником.

по меньшей мере, двух ваттметров. Схема включения по системе двух ваттметров вполне симметрична: катушки тока обоих ваттметров включаются в два провода, обмотки же их катушек напряжения — одним концом в те же провода, другим же концом — в третий провод сети (черт. 80). Общую мощность трехфазной сети показывает алгебраическая сумма показаний обоих ваттметров.

Доказать правильность этого не трудно. Ваттметр I на черт. 80 измеряет среднее значение

$$\frac{1}{T} \int_0^T J_{a_{\text{мом}}} \cdot D_{ab_{\text{мом}}} \cdot dt,$$

а ваттметр II  $\frac{1}{T} \int_0^T J_{c_{\text{мом}}} \cdot D_{cb_{\text{мом}}} \cdot dt$ , следовательно,

оба они вместе измеряют среднее значение

$$\frac{1}{T} \int_0^T (J_{a_{\text{мом}}} \cdot D_{ab_{\text{мом}}} + J_{c_{\text{мом}}} \cdot D_{cb_{\text{мом}}}) \cdot dt.$$

Если потребители тока включены по системе треугольника, согласно черт. 80, то, опуская наименование „мом“ в следующих уравнениях,

$$J_a = J_1 - J_3$$

$$\text{и} \quad J_c = J_3 - J_2;$$

следовательно, скобки вышестоящего уравнения можно заменить выражением

$$(J_1 - J_3) D_{ab} + (J_3 - J_2) D_{cb},$$

или

$$= J_1 \cdot D_{ab} - J_2 \cdot D_{cb} + J_3 (D_{cb} - D_{ab}).$$

Далее:

$$D_{ab} = D_1,$$

$$D_{cb} = -D_2,$$

следовательно,  $D_{cb} - D_{ab} = -D_2 - D_1$ .

В треугольнике, согласно второму закону Кирхгофа

(см. „Библиотек Гешен“ — „Электротехника“, часть I):

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,$$

следовательно,  $-D_2 - D_1 = D_{cb} - D_{ab} = D_3$ .

Отсюда следует, что оба ваттметра вместе измеряют:

$$\frac{1}{T} \int (J_1 D_1 + J_2 D_2 + J_3 D_3) dt,$$

т. е. они измеряют общую мощность трехфазного тока.

Подобным же образом можно доказать правильность положения при системе включения звездой. Надо лишь помнить, что в этом случае (черт. 81):

$$J_a = J_1; \quad J_c = J_3;$$

и  $J_1 + J_2 + J_3 = 0;$

затем, что:  $D_{ab} = D_1 - D_2$

и  $D_{cb} = D_3 - D_2.$

При этих доказательствах не делается никаких допущений относительно нагрузки отдельных фаз, а

потому этот метод, называемый методом двух ваттметров, годен при всякой нагрузке системы трехфазного тока.

Оба ваттметра при этом методе бывают также соединены в один прибор, причем два однофазных ваттметра помещены, один,

над другим, в общем корпусе, причем подвижные системы их сидят на общей, продольной, оси.

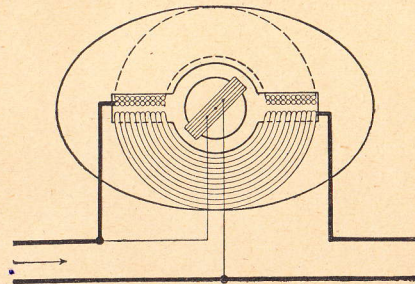
Трехфазный ток с отдельным нулевым проводом ведущим ток измеряется, обыкновенно, тремя ваттметрами, включенными согласно черт. 77. Однако имеются и другие схемы включения, дающие возможность обойтись, при особых условиях, двумя лишь ваттметрами.

## 26. Электродинамические приборы с железными корпусами.

Чтобы усилить поле неподвижной катушки, а, следовательно, и момент вращения, неподвижную катушку помещают в корпус из тонкого

листового железа, так что значительная часть силовых линий проходит в железе (черт. 82).

Как и в „приборах с подвижной катушкой“, для последней оста-



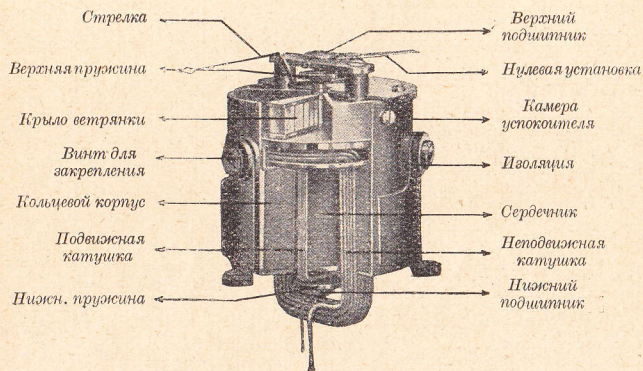
Черт. 82. Схема электродинамического ваттметра с железным корпусом. Фирмы Сименс и Гальске.

вляется цилиндрической формы пространство, в котором помещен, концентрически с ним, неподвижный железный листовой сердечник. Катушка вращается в свободном пространстве между обоими железными массами.

Такие приборы, помимо того, что момент вращения их раз в 20 сильнее, чем у приборов без железа, еще хорошо предохранены от влияния внешних полей. Далее, они не зависят, поскольку это важно для практики, от частоты (при числе периодов от 10 до 100 в секунду), ошибка в показаниях их меньше 1%, а равно не влияет на них уменьшение напряжения до половины. Расход энергии на ваттметр около 3 ватт в катушке тока и столько же в катушке напряжения при 120 вольт.

Расширение пределов измерения достигается параллельным и последовательным включением катушек тока, а также включением дополнительного сопроти-

вления перед катушкой напряжения. Можно, конечно, пользоваться также трансформаторами тока и напряжения. Для трехфазного тока два или три ваттметра помещают в общем корпусе, стрелка которого показывает общую мощность.



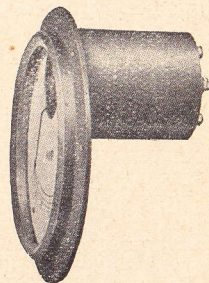
Черт. 83. Электродинамический ваттметр с железным корпусом А.Е.Г.  
Внутренний вид.

Конструкцию А.Е.Г. показывают черт. 83 и 84. В амперметрах этой фирмы, подвижная катушка включается параллельно к неподвижной, или же к особому шунту (при силе тока от 50 до 300 амп.), помещаемому отдельно от прибора. Конструкция железных корпусов Сименса и Гальске видна на черт. 82.

Эти приборы можно также градуировать постоянным током и пользоваться ими для измерения переменного.

Разница в показаниях не превышает 0,1—0,2%. Для лабораторий приборы эти, конечно, не годятся.

Не так давно Сименс и Гальске стали строить ваттметры с железными корпусами и для постоянного тока. Постоянный магнит прибора с подвижной катушкой заменен здесь корпусом из листового железа, подобной ему формы. Обмотка его из тонкой проволоки, как у катушки напряжения. Параллельно к подвижной катушке в главный ток включается шунт. Отклонения показывают мощность постоянного тока.



Черт. 84.  
Электродинамический ваттметр с железным корпусом А.Е.Г.

## VI. Индукционные или трехфазные приборы.

### 27. Основы их действия.

В приборах этого рода, подлежащий измерению переменный ток создает более, или менее совершенное, вращающееся поле. В этом поле помещается барабан (полый цилиндр), или же диск из алюминия. Вращающееся поле возбуждает в барабане, или диске, токи, подобно тому, как это происходит в короткозамкнутом яноре моторов трехфазного тока, а благодаря этому возникает момент вращения (см. „Библиотека Гешен“, „Электротехника“, часть III).

Вращающееся поле создается, обычно, двумя переменными токами различных фаз. Если катушки, по которым проходят эти токи, расположены симметрично относительно диска, или барабана, то возникает правильное вращающееся поле. Часто, однако, катушки

располагают не по окружности, но одни над другими. В этом случае, вместо правильного поля получается поле, непрерывно перемещающееся в известном направлении между полюсами.

Момент вращения пропорционален токам, создающим вращающееся поле и может, поэтому служить мерой этих токов. Согласно этому принципу можно, следовательно, строить амперметры, вольтметры и ваттметры.

По самой идее своей эти приборы годны лишь для переменного тока и градуировать их постоянным током нельзя. Точность их значительно уступает точности электродинамометров.

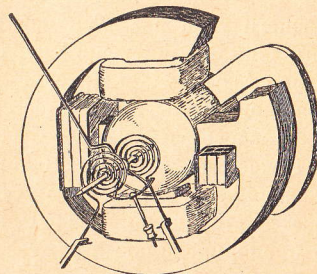
Большое преимущество их, зато, простота конструкции и прочность, как в электрическом, так и в механическом отношениях. Они допускают сильную перегрузку и обладают большим моментом вращения, что позволяет делать, как стрелки, так и коробки приборов, большего размера.

К влиянию внешних токов и магнитных полей они почти вовсе не чувствительны. Также и незначительные колебания температуры не имеют для них большого значения.

### 28. Индукционные приборы с вращающимся полем.

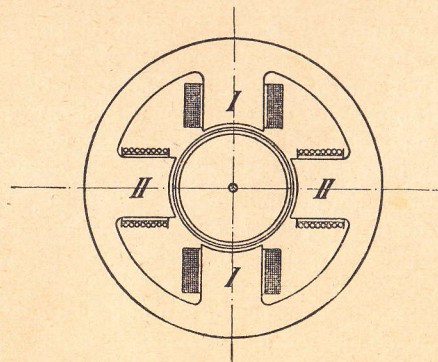
Два перпендикулярных друг к другу переменных поля создают, подобно тому, как в моторе трехфазного тока, правильное двухфазное вращающееся поле. Сами переменные поля получают, каждое, посредством двух катушек, насаженных друг против друга на полюсах (черт. 85). Четыре полюса помещаются на ободке из листового железа и окружают неподвижный, железный же, цилиндр. В свободном пространстве между полюсными наконечниками и цилиндром помещается алюми-

ниевый барабан, приобретающий момент вращения вследствие действия двухфазного вращающегося поля. Этот момент вращения пропорционален произведению обоих токов на синус угла между их фазами.



Черт. 85. Внутренний вид прибора с вращающимся полем.

Объясняется это следующим образом. Поле, создаваемое переменным током в катушке I (черт. 85), возбуждает в алюминиевом барабане токи Фую, проходящие также и перед полюсами II. Вследствие имеющегося уже в последних поля, созданного катушками II, барабан приобретает момент вращения, пропорциональный каждое мгновение произведению этого последнего поля на токи Фую. Полу-



Черт. 86. Схема прибора с вращающимся полем.

чается, следовательно, средний момент вращения, пропорциональный произведению максимальной величины поля, максимальной величины тока Фуко и косинусу фазного угла их. Так как ток Фуко сдвинут, относительно тока катушки I на  $90^\circ$ , поле перед полюсами II одной фазы с током II, то, стало быть, момент вращения пропорционален произведению тока I, тока II и синуса их фазного угла.

Подобным же образом ток катушки II возбуждает токи Фуко перед полюсами I. Вследствие этого получается второй момент вращения, того же направления и пропорциональный тому же произведению.

То же самое можно доказать другим рассуждением: Если токи в катушках одной фазы, то никакого вращающегося поля, вообще, не будет, а, следовательно, не будет и момента вращения. Поле обращается во вращающееся лишь вследствие разницы фаз обеих катушек и, когда разница эта достигает  $90^\circ$ , вращающееся поле наиболее ясно выражается и момент вращения наибольший. Функция же, достигающая своего максимума при  $90^\circ$  и равная нулю при  $0^\circ$ , есть не что иное, как функция синуса. Следовательно, момент вращения пропорционален синусу фазного угла между обоими токами.

В электродинамометрах, наоборот, момент вращения пропорционален косинусу угла между токами.

Противодействующей моменту вращения силой, обычно, служат две спиральных пружины.

Успокоение производится постоянным магнитом, действующим на тот же алюминиевый барабан. Он виден на черт. 85 справа, позади.

В амперметрах токи обеих пар катушек должны быть различной фазы, но пропорциональны измеряемому току  $J$ .

В вольтметрах токи обеих пар катушек должны быть пропорциональны напряжению, но со сдвинутыми, один относительно другого, фазами.

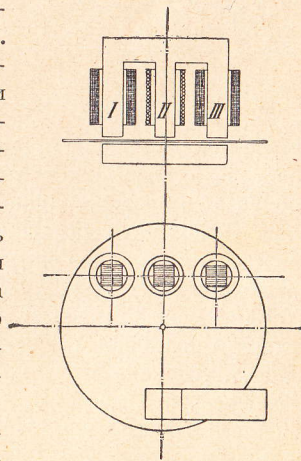
В ваттметрах, через одну катушку идет измеряемый ток, другая же включается на напряжение и надо следить за тем, чтобы производимый им в этой катушке ток отставал от него (напряжения) на  $90^\circ$ . Достигается это различными способами.

Приборы эти называются приборами с вращающимся полем, из-за наличия в них последнего, или же приборами Феррарис, по имени ученого, который первый обратил внимание на это действие токов различных фаз.

### 29. Индукционные приборы с блуждающим полем.

Конструкция этих приборов чрезвычайно различна. Одну из простых схем показывает черт. 87. Три железных сердечника расположены рядом. Перед концами их помещен алюминиевый диск, могущий вращаться. Замкнутый путь силовых линий достигается с помощью общего яра сверху и находящейся по другую сторону алюминиевого диска (снизу), поперечной.

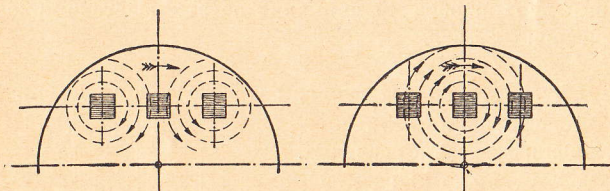
На каждом железном сердечнике сидит катушка. Две крайних катушки получают



Черт. 87.  
Схема индукционного прибора.

один и тот же ток, средняя же катушка — другой. При этом ток в крайних катушках направлен так, что на их нижних концах образуются различные полюса.

Переменные поля полюсов вызывают в диске токи Фуко (черт. 88). Получающийся, при этом, момент вращения пропорционален произведению  $J_I \cdot J_{II} \cdot \sin \varphi$ , что нетрудно доказать рассуждением, подобным приведенному выше, при разборе приборов с вращающимся полем. Чтобы диск вращался, токи в катушках должны быть сдвинуты и, лучше всего, на  $90^\circ$ . При этом, максимальное поле получается, по порядку, сначала перед I,



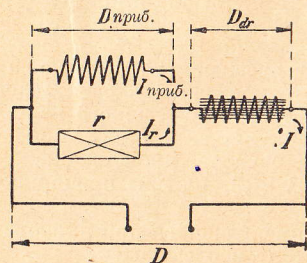
Черт. 88. Токи Фуко в алюминиевом диске индукционного прибора.

через четверть периода перед II и еще через четверть периода перед III катушкой. В следующий момент получается противоположный максимум перед I катушкой, переходит перед II и III и т. д. При этом, по известному действию вращающегося поля, вращается и диск.

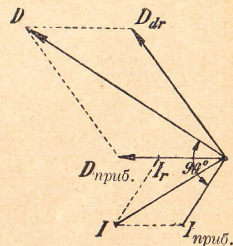
Помещенный в известном отдалении от движущей системы постоянный магнит охватывает алюминиевый диск и успокаивает его колебания. На этом принципе основаны, прежде всего, электрические счетчики переменного и трехфазного тока.

### 30. Измерение мощности индукционными приборами.

Наиважнейшее применение этих приборов — измерение мощности. У приборов с вращающимся полем одна пара противоположащих полюсов обматывается толстой проволокой, по которой идет главный ток, другая пара — тонкой, для тока напряжения. Чтобы прибор измерял, в действительности,  $J \cdot D \cdot \cos \varphi$ , а не  $J \cdot D \cdot \sin \varphi$ , надо принять меры к тому, чтобы главный



Черт. 89. Включение для сдвига фазы на  $90^\circ$ .



Черт. 90. Диаграмма к черт. 89.

ток, идущий в катушке главного тока, различен от тока в катушке напряжения не на фазу  $\varphi$ , а на  $90^\circ \pm \varphi$ . Достигается это различным образом; например тем, что току в катушке напряжения дают отставать от напряжения на  $90^\circ$  в противоположность с электродинамическими ваттметрами, где прилагается все старание, дабы, с помощью безиндукционных сопротивлений, получить ток в катушке напряжения одной фазы с последним.

На черт. 89 показан простой способ, при котором применяются индукционные и безиндукционные сопротивления. Задача состоит в том, чтобы  $J_{\text{приб.}}$  (ток в приборе) отставал от главного напряжения  $D$  на  $90^\circ$ .



Катушка напряжения прибора обладает уже сама по себе большой индуктивностью, так что сдвиг фазы между напряжением в ней и идущим по ней током составляет около  $90^\circ$ . На черт. 90 это изображено векторами  $D_{\text{приб.}}$  и  $J_{\text{приб.}}$ . Остается, следовательно, вектор главного напряжения  $D$  установить перпендикулярно к  $J_{\text{приб.}}$ , добавив реактивную катушку.

Если послать предварительно ток  $J$ , через безиндукционный шунт  $r$ , то  $J_r$  будет в фазе с  $D_{\text{приб.}}$ , а общий ток  $J$  получится тогда, как сумма  $J_{\text{приб.}}$  и  $J_r$ . Этот общий ток проходит через реактивную катушку и принуждает к этому же напряжению  $D_{dr}$ , опережающее его на большой угол. Оба напряжения  $D_{dr}$  и  $D_{\text{приб.}}$  складываются в общее напряжение  $D$ ; очевидно, что подходящим выбором безиндукционного сопротивления реактивной катушки нетрудно установить вектор главного напряжения  $D$ , как раз перпендикулярно к  $J_{\text{приб.}}$ . Момент вращения, действующий на барабан, пропорционален, в этом случае,  $J \cdot D \cdot \sin(90^\circ \pm \varphi)$ , или же пропорционален  $J \cdot D \cdot \cos \varphi$ .

Другой способ, часто применяющийся при приборах с блуждающим полем, состоит в следующем:

Ток в катушке напряжения уже сам по себе сдвинут относительно напряжения на угол около  $90^\circ$ . Оставляя его без изменения, принимают меры к тому, чтобы производимое этим током напряжения поле отставало от него еще на известный угол, так, чтобы поле перед катушкой напряжения было сдвинуто относительно напряжения точно на  $90^\circ$ . В этом все и дело.

Достигается это, например, тем, что, на полюсный конец накладывают замкнутое кольцо из проволоки, или металлической ленты. Индуцируемые в нем токи заставляют равнодействующее поле отставать от тока в катушке напряжения.

Таким, или подобным, образом получаются ваттметры с очень легкой подвижной системой и мощным моментом вращения. Скала их градуируется равномерно (черт. 91). Изменение сопротивления обмоток в зависимости от температуры не имеет никакого зна-

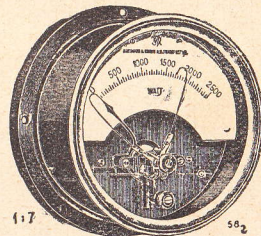
чения, ибо омическое сопротивление играет второстепенную роль. Что касается тока, возникающего в алюминиевом барабане, или диске, а с ним и момента вращения, то они с изменением температуры меняются, но в незначительной степени.

К изменению напряжения и частоты прибор очень чувствителен, так как искусственно созданный сдвиг фаз в значительной мере зависит от обоих. Такие приборы нельзя, следовательно, применять для других напряжений, изменив лишь добавочное сопротивление. Здесь необходим трансформатор напряжения.

Естественно, нельзя также пользоваться никакими шунтами к катушке тока, так как у катушки главного тока большая индуктивность. При изменениях частоты на 5% ошибка в показаниях прибора доходит до 1%. Расход энергии значительно меньше, чем при электродинамических ваттметрах без железа и несколько меньше, чем при тех же приборах, но с железными корпусами.

### 31. Измерение тока и напряжения индукционными приборами.

Измеряемый ток должен делиться на два тока различных фаз. При этом не требуется, конечно, как при ваттметрах, чтобы разность фаз была точно  $90^\circ$ . Уже при незначительном сдвиге фаз получается достаточный момент вращения. Скала этих приборов, по существу квадратического характера, но с помощью противодей-



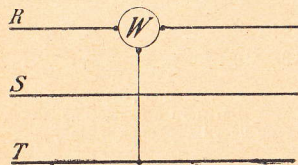
Черт. 91.  
Ваттметр с вращающимся полем Гартмана и Брауна.

ствующих пружин, момент кручения которых возрастает быстрее, чем угол отклонения, достигается известная равномерность ее.

Такие индукционные амперметры и вольтметры строятся и применяются редко.

### 32. Измерение мощности трехфазного тока.

В общем, индукционные и с вращающимся полем ваттметры находят применение так же часто, как и электродинамические. В случае неравномерной нагрузки трехфазной сети пользуются двумя ваттметрами при трех проводах (см. выше) и тремя ваттметрами при четырех проводах. Здесь также два, или три, ваттметра соединяются в одном корпусе с одной стрелкой и носят название ваттметров трехфазного тока.



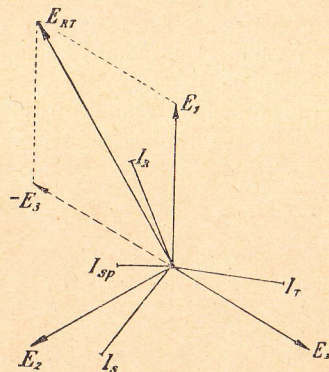
Черт. 92. Измерение мощности трехфазного тока одним индукционным ваттметром.

При одинаковой нагрузке трех проводов трехфазной сети можно, при доступности точки сопряжения проводов, обойтись с одним ваттметром, при недоступности же ее ваттметр Феррарис представляет то преимущество, что при нем является ненужной искусственная точка сопряжения проводов.

При одинаковой нагрузке трех проводов трехфазной сети можно, при доступности точки сопряжения проводов, обойтись с одним ваттметром, при недоступности же ее ваттметр Феррарис представляет то преимущество, что при нем является ненужной искусственная точка сопряжения проводов.

Объясняется это следующим образом: если включить ваттметр так, как показано на черт. 92, то он измеряет ток  $J_R$  главного провода, напряжение  $E_{RT}$  между двумя главными проводами и угол сдвига фаз между ними обоими. Напряжение  $E_{RT}$  между двумя проводами  $R$  и  $T$  отстает от напряжения звезды  $E_1$  на  $30^\circ$  (черт. 93). Вследствие этого, такая схема включения

не может быть применена при электродинамическом ваттметре. При ваттметре же Феррарис, все равно, надо получить сдвиг фазы тока относительно фазы напряжения в катушке напряжения, и именно на  $90^\circ$ . Пропорциональное действительной мощности отклонение получится, следовательно, тогда, когда фаза в катушке напряжения будет сдвинута еще на  $60^\circ$ , сравнительно с фазой напряжения в проводе. Таким образом, одним ваттметром Феррарис можно измерять мощность трехфазного тока при равномерно распределенной нагрузке без помощи сопротивлений нулевой точки.



Черт. 93. Диаграмма к черт. 92.

## VI. Тепловые приборы.

### 33. Основы действия их.

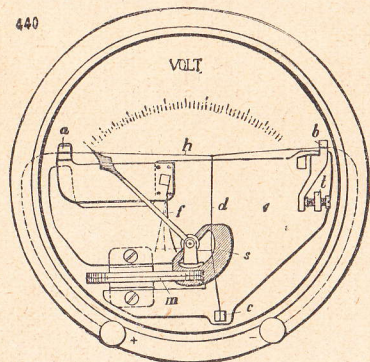
При нагревании проволоки током, она удлиняется, вследствие повышения температуры. Это удлинение можно использовать для измерения проходящего по проволоке тока, или же вызывающего его напряжения.

Нагревание током пропорционально, по закону Джоуля (Библиотека Гешена, „Электротехника“, часть I), квадрату тока. Отсюда следует, что шкала тепловых приборов квадратическая.

Нагревание переменным током одинаково с нагреванием постоянным, если эффективная величина первого равна величине последнего. Поэтому, тепловые приборы показывают действующую величину переменного тока и переменного напряжения, независимо от вида кривой и частоты.

Нагреваемая (тепловая) проволока делается, естественно, из материала с возможно большим коэффициентом расширения.

Сначала ее делали из платинового-серебра (сплава платины с серебром). Уже при температуре в  $100^{\circ}$  получалось достаточное удлинение проволоки. Но при этом было то неудобство, что длина проволоки изменялась заметно и при колебаниях окружающей температуры.



Черт. 94. Тепловой прибор Гартмана и Брауна. Внутреннее устройство.

Чтобы показания прибора оставались правильными, необходимо с помощью соответствующих приспособлений компенсировать это влияние внешней температуры. Гартман и Браун заменили, поэтому, платино-серебряную проволоку платино-иридиевой, которую, без вреда для нее, можно доводить до температуры во много раз высшей, чем первую.

В первом тепловом приборе, построенном англичанином Кардью в 1886 году, удлинение проволоки

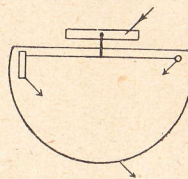
в 1 метр непосредственно приводило в движение стрелку.

В современных тепловых приборах, введенных в употребление Гартманом и Брауном в начале девяностых годов, горизонтально протянутая проволока, длиной около 16 см. (на черт. 94 проволока *a-b*) нагревается при прохождении тока. Пригиб ее, получающийся вследствие удлинения при нагревании, передается, с помощью весьма остроумного приспособления стрелке. Деление шкалы от полного отклонения на 20% вниз, почти равномерно.

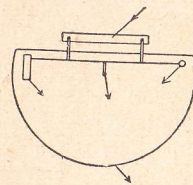
Внешние поля на проволоку, естественно, не влияют. Зато к перегрузке она несколько чувствительна, хотя в течение короткого времени выдерживает двойной ток. Все же для установок с большой перенагрузкой, тепловые приборы не рекомендуются.

#### 34. Измерение тока тепловыми приборами.

Простая проволока нагревания допускает максимальную нагрузку около 0,5 амп. Чтобы обходиться той же



Черт. 95. Тепловая проволока разделена на две части, включенных параллельно.



Черт. 96. Тепловая проволока разделена на четыре части, включенных параллельно.

проволокой при большей силе тока, применяется искусственный прием, при котором, проходящий по проволоке, ток разделен на несколько, параллельно вклю-

ченых, частей. Черт. 95 показывает тепловую проволоку, разделенную на две параллельно включенные части, следовательно, для нагрузки около 1 амп., а черт. 96 — ее, же, разделенную на четыре части, т. е. для 2 амп. При десятикратном параллельном включении получаются, таким образом, амперметры для силы тока до 5 амп. Чтобы не нарушалась правильность прогиба проволоки нагревания, ток подводится к ней посредством мягких, тонких, серебряных лент.

Если требуется измерять еще более сильные токи, то применяются шунты, или трансформаторы тока. Последние не представляют никаких особенностей. Что касается шунтов, то необходимо принимать во внимание, что:

При тепловом амперметре с шунтом, отношение токов в проволоке и шунте существенно изменяется при изменении силы тока, так как температура, а с ней и сопротивление проволоки, находятся в сильной зависимости от силы тока, в то время как шунт не нагревается, следовательно, сопротивление его остается прежним.

Если, таким образом, при максимальном отклонении стрелки, токи в проволоке и шунте находятся в определенном соотношении например, 5 и 45 амп., то, при половинном токе, в 25 амп., соотношение будет иное, ибо сопротивление, менее нагревающейся при этом токе, проволоки будет меньше. Следовательно, при токе в 25 амп. через проволоку пойдет не 2,5 амп., но несколько больше. Таким образом, если стрелка прибора, рассчитанного на 5 амп., скала которого градуирована без шунта, стоит, при половинном токе, на делении 2,5 амп., то, при шунте для 50 амп., она показывает, при 25 амп., несколько больше 2,5 амп. При шунте с еще меньшим сопротивлением, например, для 500 амп., отклонение при половинном токе будет еще значительнее. Тепловые

амперметры, следовательно, необходимо градуировать для каждого шунта особо и деление их скалы для каждого шунта иное.

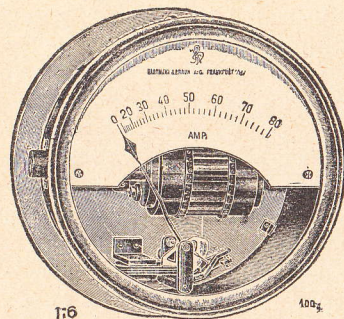
При этом, однако, определенные градуированием частные штрихи отличаются друг от друга тем меньше, чем сильнее ток и чем меньше сопротивление шунта, ибо ток, идущий через проволоку, играет все меньшую и меньшую роль, в сравнении с током, идущим через шунт. При шунтах, больших, чем на 100 амп., можно, таким образом считать, на практике, показания амперметра одинаковыми и пользоваться прибором, градуированным для такого шунта, не меняя его скалы, и при других шунтах.

При таких силах тока, можно рассматривать тепловой амперметр, как милливольтметр, который, будучи включен в зажимы шунта, измеряет потерю напряжения в последнем. Конечно, это удивительный милливольтметр, при сопротивлении от 0,06 ом до 0,25 ом, проводящий ток силой от 1,2 до 5 амп. По причине такого малого сопротивления прибора, необходимо особое внимание обращать на провода, соединяющие его с шунтом. Они должны быть из медной проволоки от 6 до 10 кв. мм. поперечного сечения, точно уравниены между собой по длине, контакты же их должны быть хороши настолько, чтобы, благодаря им не возникало никакого сопротивления, могущего отразиться на правильности показаний прибора.

### 35. Измерение токов большой частоты.

Тепловые приборы с простой проволокой нагревания обладают тем отличительным свойством, что они реагируют на постоянный и переменный ток вполне одинаково и совершенно независимы от частоты. Как скоро,

однако, применяется шунт, или разветвление тока, как например, при амперметрах на силу тока большую 0,5 амп., то, при больших частотах (примерно, от 1000 пер. в сек.), проявляется, заметным образом различная индуктивность отдельных ветвей тока и показания прибора меняются, в зависимости от частоты. Вследствие этого, конструкция приборов, назначаемых для сильных токов большой частоты,



Черт. 97. Тепловой амперметр Гартмана и Брауна для токов большой частоты.

должна быть вполне симметричной. Так, например, Гартман и Браун применяют соответственно большое число лент, расположенных в виде беличьего колеса и включенных параллельно (черт. 97). Таким образом, ток распределяется, между лентами даже при самой большой частоте совершенно равномерно. Одна из последних действует на стрелку совершенно таким же образом, как проволока в обыкновенных приборах. Подобные приборы строятся всевозможных размеров и на силу тока до нескольких сот ампер. От числа периодов они вполне независимы.

### 36. Измерение напряжения тепловыми приборами.

У тепловых вольтметров имеется одна проволока нагревания, по которой, обычно, проходит ток не выше 0,1 амп. Если, подлежащее измерению напряжение

превышает 3 вольта, то необходимо пользоваться предвключаемым к проволоке сопротивлением, или же трансформатором. Последний может быть непосредственно соединен с тепловым вольтметром, при применении же дополнительного сопротивления, как и при пользовании шунтом при амперметрах, необходимо принимать во внимание нижеследующее.

Под влиянием нагревания, соотношение напряжений, приходящихся на долю проволоки и дополнительного сопротивления, изменяется. С уменьшением напряжения уменьшается и сопротивление охлаждающейся проволоки, в то время, как дополнительное сопротивление, делаемое, обыкновенно, из материала с малым температурным коэффициентом, остается неизменным. Таким образом, например, показания вольтметра при половинном напряжении тем больше уклоняются от истинных в меньшую сторону, чем выше общее напряжение, для которого назначен прибор вместе с предвключенным сопротивлением. Тепловые вольтметры необходимо, поэтому, градуировать особо для каждого предвключаемого сопротивления и давать им каждый раз особую шкалу.

При переменном токе тепловые вольтметры показывают эффективную величину напряжения. Так как индуктивность, при короткой проволоке, крайне незначительна, то частота и вид кривых, даже и без большого предвключаемого сопротивления, не играют никакой роли.

При больших частотах можно непосредственно пользоваться тем же вольтметром, если предвключаемое сопротивление вполне безиндукционно.

Расход энергии на прибор при 110 вольтах составляет около 8 ватт.

### 37. Тепловые приборы Гартмана и Брауна.

Тонкая, платино-иридиевая проволока, длиной около 16 см. и поперечного сечения около 0,03 кв. мм., протянута горизонтально между двумя неподвижными точками (черт. 94). Примерно, в середине ее ответвляется вниз платино-иридиевая же проволочка, длиной около 10 см. и толщиной в 0,03 мм., нижний конец которой закреплен. В середине этой вертикальной проволочки прикреплена, перпендикулярно к ней, коконная нить, перекинутая через ролик. Другая такая-же нить идет от ролика к ленточной пружине, держащей всю систему в натянутом состоянии.

При прогибе, от нагревания платино-иридиевой проволоки (на величину около 2 мм.), пружина оттягивает коконные нити влево (примерно на 6 мм.) и приводит этим во вращение ролик. Соединенная с последним стрелка показывает на шкале силу тока, или напряжения.

Приборы снабжены электромагнитным успокоителем (черт. 94 и 10). Поэтому регулирование стрелки, происходит вполне аperiodично.

Влияние внешней температуры в приборах Гартмана и Брауна компенсировалось прежде с помощью опорной пластинки, на которой помещена вся система и которая делалась из сплава, с таким-же точно коэффициентом расширения, как у платино-серебряной проволоки. Но эта компенсация, благодаря большой массе пластинки, сказывалась лишь через известное время. При быстрых же изменениях температуры, если, например, прибор из холодного помещения переносили в теплое, проволока мгновенно принимала температуру последнего и удлинялась. Прибор давал отклонение, исчезавшее лишь после того, как, в свою очередь, нагревалась и опорная пластинка.

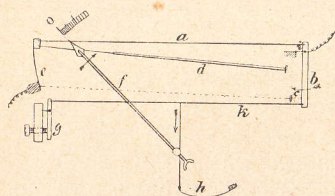
Гартман и Браун освободились от этого неприятного явления, применив платино-иридиевую проволоку, коэффициент расширения которой хотя меньше, но которая, зато, переносит более высокую температуру и не так легко плавится. Эта новая проволока нагревается в три раза больше прежней током одной и той же силы и, таким образом, получается такое же удлинение, как и раньше (около 2 мм.); важное же преимущество ее то, что незначительные колебания температуры помещения не производят заметного удлинения ее. Новая компенсационная пластинка состоит из большого куска листового железа и маленького куска из никелевой стали, соединенных вместе.

Для установки стрелки на нуле имеется коррекционный винт, посредством которого можно передвинуть точку прикрепления проволоки нагревания. Временная перегрузка, в два раза превышающая нормальную, допустима без вреда для прибора. Для защиты проволоки от перегорания служат вставные предохранители, которые можно заменять.

### 38. Тепловые приборы других фирм.

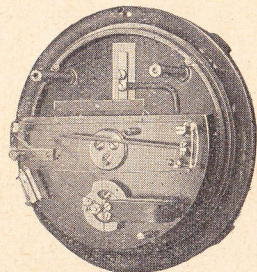
Д-р Пауль Мейер строит свои приборы, как показывают черт. 98 и 99. Верхняя горизонтальная проволока — тепловая, из платинового-серебра. Справа она прикреплена к короткому плечу рычага *b*, другое плечо которого оттягивается ленточной пружиной *h*. При удлинении проволоки, вследствие прохождения тока, эта пружина оттягивает натяжную проволоку вниз и приводит в движение стрелку. Тепловая проволока в этих приборах, следовательно, не прогибается, но всегда натянута.

Предохранением от расплавления служит приспособление для короткого замыкания. Если нижнее плечо рычага передвинется достаточно далеко влево, то



Черт. 98.

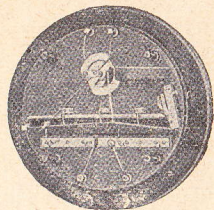
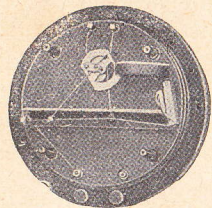
Расположение тепловой проволоки  
Д-ра П. Мейера.



Черт. 99.

Внутренний вид те логого  
прибора Д-ра П. Мейера.

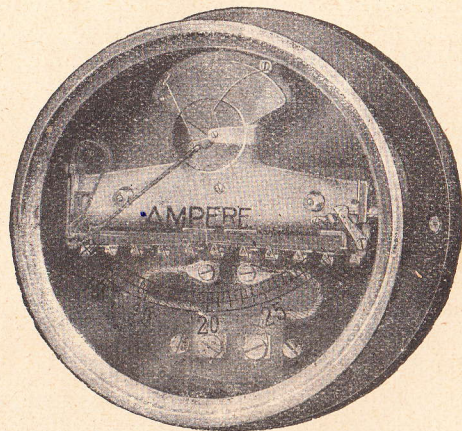
оно замыкает особый контакт и параллельно к тепловой проволоке включается защищающий ее шунт. Оба контакта установлены так, что предохранительное при-

Черт. 100. Тепловой амперметр  
А.Е.Г.Черт. 101. Тепловой вольтметр  
А.Е.Г.

способние начинает действовать при перегрузке в 10—15%.

Компенсация влияния внешней температуры достигается с помощью проволочки *d*, растягивающейся соответственно температуре помещения и передвига-

ющей левую точку прикрепления тепловой проволоки более или менее влево; таким образом прогиб тепловой проволоки независим от влияния внешней температуры. Вольтметры потребляют, при максимальном отклонении, 0,1 амп.; на большая потеря напряжения в амперметрах: 0,25 вольт. Приборы снабжены успокоителем



Черт. 102. Тепловой амперметр Сименса и Гальске.

токов Фуко и винтом для корректирования нулевой точки.

Тепловые приборы А.Е.Г. (черт. 100 и 101) по своей конструкции схожи с приборами Гартмана и Брауна. У них нет лишь никакого приспособления для компенсации внешней температуры. Точку нуля переносных приборов необходимо, вследствие этого, точно устанавливать перед каждым измерением, а при продолжительной работе от времени до времени проверять. Успокоитель токов Фуко обеспечивает аperiодическое

регулирование стрелки. Потеря напряжения в амперметрах для 5 амп. составляет, при полном отклонении, 0,3 вольт; расход тока в вольтметрах 0,18 амп.

Сименс и Гальске (черт. 102) применяют, в качестве материала для тепловой проволоки, платиновое серебро и компенсируют влияние внешней температуры, подобно Д-ру П. Мейеру, с помощью вспомогательной проволоки. Отклонение стрелки в приборах Сименса и Гальске, также как у Гартмана и Брауна, получается вследствие прогиба тепловой проволоки. Подвижная система весит лишь 0,3 грамма, включая сюда и диск для успокоения токов Фуко. В амперметрах для 5 амп. потеря напряжения не превышает 0,15 вольт, в амперметрах для 1,2 амп. — 3 вольта. По тепловой проволоке вольтметра, при максимальном отклонении, проходит ток в 0,1 амп.

### VIII. Электростатические приборы.

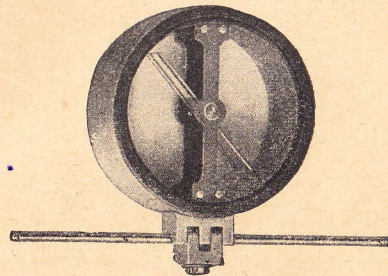
#### 39. Основы их действия.

Действие приборов этого рода основано на взаимном притяжении, или отталкивании, двух изолированных и несущих электрические заряды, тел. Если одно из этих тел неподвижно, другое же может двигаться, но, при зарядке их, последнее уклонится от своего положения покоя. Зарядка производится напряжением измеряемого тока и пропорциональна ему. Притягивающая, или отталкивающая сила зависит от произведения зарядов обоих тел и, так как, величина зарядов пропорциональна напряжению, от квадрата действующего напряжения.

Электростатические приборы служат, следовательно, для измерения и скала их квадратического характера (стр. 36).

#### 40. Электроскопы.

Первым аппаратом, основанным на этом принципе был электроскоп. Два легких тела, например, два тонких и узких золотых листочка, подвешены на общем, изолированном, крючке. При соединении их с одним из полюсов напряжения, в то время, как другой полюс последнего заземлен, или же соединен с корпусом электроскопа, листочки заряжаются. Т. к. электрические заряды одного знака отталкиваются, то листочки разойдутся и покажут этим присутствие заряда, или же, что то же, причину его — наличие напряжения.



Черт. 103. Электростатический показатель напряжения А.Е.Г.

В электростатическом показателе напряжения А.Е.Г. (черт. 103) имеется алюминиевое крылышко, видимое сквозь стекло изолированной коробки, и принимающее наклонное положение, если в проводе, на котором прибор подвешен, есть напряжение. Крылышко отталкивается тогда двумя металлическими пластинками, помещающимися за вертикальной перекладиной, ибо эти пластинки соединены с приспособлением для подвеса прибора.

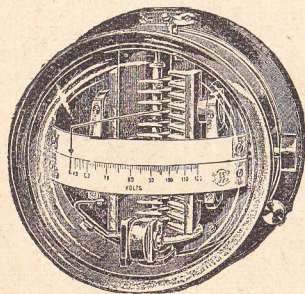
#### 41. Многокамерный вольтметр.

По конструктивному принципу, данному Вильямом Томсоном (Лордом Кельвином), Гартман и Браун



строят пригодный для технических измерений квадратный электрометр, так называемый многокамерный вольтметр (черт. 104).

В одной коробке помещены неподвижно, друг против друга, два вертикальных ряда металлических камер. Подвижная система, снабженная алюминиевыми крылышками, число которых соответствует числу камер, подвешена на вертикальной оси так, что крылышки



Черт. 104. Электростатический многокамерный вольтметр Гартмана и Брауна.

могут входить в камеры. Если соединить камеры с одним, а крылышки с другим полюсом измеряемого переменного напряжения, то они притянутся друг к другу; подвижная система, следовательно, повернется.

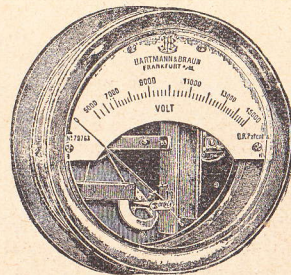
Для усиления действия имеются еще две вертикальные, металлические полосы, соединенные проводником с подвижной системой, назначение которых, стало быть, отталкивать последнюю в направлении камер.

Этот статический вольтметр так чувствителен, что его можно строить и пользоваться им для напряжений в пределах от тысячи (1000) до 100 вольт. У него есть электромагнитное успокоение, при переносках же, по причине нити, на которой подвешена подвижная система, его необходимо арретировать.

#### 42. Статический вольтметр для высоких напряжений.

Статические приборы применяются преимущественно для измерения высоких напряжений.

Вольтметр для высоких напряжений Гартмана и Брауна (черт. 105) состоит из трех, прямоугольных, пластинок, помещенных вертикально и параллельно одна другой. Две крайних пластинки неподвижны и соединяются каждая с одним из двух полюсов измеряемого напряжения. Средняя, подвижная, пластинка висит на двух тонких, бронзовых лентах (почему для прибора является необходимым арретирующее приспособление) и соединяется проводничком с одной из неподвижных пластинок, вследствие чего, при заряде, она этой последней отталкивается, другой же неподвижной притягивается. Движение передается стрелке и успокаивается электромагнитным путем (черт. 105). Для напряжений в 12000 вольт и выше, перед прибором включаются конденсаторы, берущие на себя известную часть измеряемого напряжения, роль которых подобна роли предвключаемых сопротивлений при вольтметрах с проходящим по ним током. Эти предвключаемые конденсаторы располагаются Гартманом и Брауном симметрично (черт. 106) с обеих сторон прибора.



Черт. 105. Электростатический вольтметр для высоких напряжений Гартмана и Брауна.

При напряжениях высших 100 000 вольт конденсаторы включаются параллельно прибору, чтобы, путем

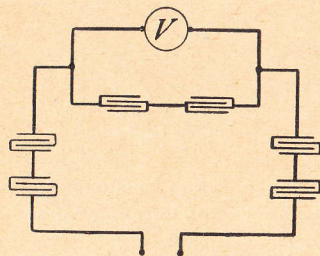
повышения емкости, уменьшить напряжение у зажимов последнего (черт. 107).

Электростатические вольтметры А.Е.С. (черт. 108)



Черт. 106. Предвключаемые конденсаторы.

состоят из подвижного алюминиевого диска, помещенного в коробке из стабилита; диск этот может втягиваться между двух неподвижных, параллельных друг другу, алюминиевых же дисков. Один из полюсов измеряемого напряжения соединяется с неподвижными дисками, другой — с подвижным. Направляющей силой служат

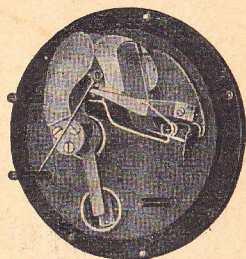


Черт. 107. Вольтметр с предвключенными и параллельно включенными конденсаторами.

сила тяжести. Успокоение электромагнитное — подвижный диск вращается между полюсов постоянного магнита.

Приборы А.Е.С. строятся для напряжений от 1500 до 7500 вольт. При более высоких напряжениях применяются конденсаторы, помещаемые согласно черт. 107. Для предохранения от последствий пробивания служат

графитовые палочки с сопротивлением в несколько мегомов, включаемые перед прибором. Они препятствуют возникновению токов большой силы в случае пробивания.



Черт. 108. Электростатический вольтметр А.Е.С.

## IX. Приборы особого рода.

### 43. Указатель направления тока.

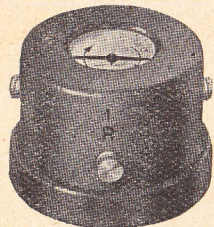
Направление тока в проводе можно определить с помощью приборов с постоянным магнитом, т. е. с магнитной стрелкой, или же с подвижной катушкой. Если амперметр с подвижной катушкой должен указывать направление тока, например, зарядного и разрядного тока батареи, то он получает шкалу с нулевой точкой в середине и отклонением вправо, или влево, от этой точки указывает направление тока.

Магнитная стрелка, помещенная над проводом, или в катушке, по которой проходит ток, также показывает направление последнего отклонением в ту, или другую сторону ее северного конца.

### 44. Указатель направления вращающегося поля.

Эти приборы служат для определения порядка следования фаз в проводах трехфазного тока, или же для обозначения их предписанными „Союзом Германских Электротехников“ (Нормы для обозначения зажимов машин, пусковых реостатов, регуляторов и трансформаторов) буквами *R*, *S* и *T* (черт. 109). Три небольших железных сердечника помещены симметрично в вершинах равностороннего треугольника и снабжены каждой обмоткой. Над ними расположен небольшой металлический диск, могущий легко вращаться на острие. Три

обмотки соединены звездой, а свободные их концы соединяются с тремя проводами, подлежащими исследованию. Вследствие возникновения вращающегося поля диск вращается, как короткозамкнутый якорь трехфазного мотора. Если вращение его происходит по стрелке, изображенной на приборе, то, помещенные на зажимах прибора, обозначения  $R$ ,  $S$  и  $T$  соответствуют соединенным с ними трехфазным проводам. В противном случае,



Черт. 109. Указатель направления вращающегося поля Д-ра Павла Мейера.

надо два из проводов поменять местами, чтобы диск вращался правильно.

#### 45. Указатель синхронизма и тождества фаз.

Для параллельного включения генераторов переменного и трехфазного токов, включаемая машина должна, кроме одинакового напряжения, быть приведенной еще к синхронизму и совпадению фаз. Первое, т. е. одинаковое число перемен полюсов, или частоту, констатируют с помощью частомера совпадение же фаз и, одновременно, синхронизм — посредством фазных ламп, фазных вольтметров и фазных частомеров. Лампы и вольтметры не представляют никаких особенностей. Схема включения их для этого случая дана в Библиотеке Гешена, „Электротехника“, том III. Относительно же фазных частомеров говорится ниже (стр. 112).

Кроме того имеются еще особые синхроскопы Сименса и Гальске, Вестона и других фирм, не описываемые здесь потому, что применяются они, сравнительно, весьма редко.

#### 46. Фазометры. Их действие.

Двекатушки I и II повернуты относительно друг друга на угол  $\alpha$  (черт. 110). При прохождении по ним переменных токов  $J_1$  и  $J_2$ , их взаимный момент вращения пропорционален произведению  $J_1 \cdot J_2 \cdot \sin \alpha$ .

Если оба тока разнятся по фазам на угол  $\varphi$ , то момент вращения зависит еще от  $\cos \varphi$  и пропорционален, следовательно:

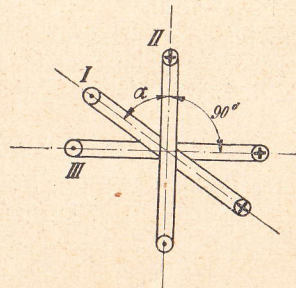
$$J_1 \cdot J_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi.$$

Если взять третью катушку III, с переменным током  $J_3$  и скрепить ее с II, в положении перпендикулярном к последней, то эта катушка III также будет оказывать на катушку I вращающее действие, причем момент вращения пропорционален  $J_1 \cdot J_3 \cdot \sin (90^\circ - \alpha)$ , или  $J_1 \cdot J_3 \cdot \cos \alpha$ .

Если ток  $J_3$  сдвинут относительно тока  $J_1$  на угол  $(90^\circ - \varphi)$ , следовательно относительно тока  $J_2$  на угол в  $90^\circ$ , то момент вращения будет пропорционален  $J_1 \cdot J_3 \sin (90^\circ - \alpha) \cos (90^\circ - \varphi)$ , или  $J_1 \cdot J_3 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi$ .

Катушки II и III закрепляют неподвижно, катушка же I может вращаться, и направление токов устанавливают так, что оба момента вращения действуют навстречу друг другу. Подвижная катушка I займет тогда такое положение, при котором моменты вращения относительно ее равновелики. Угол поворота  $\alpha$  можно определить из равенства:

$$(23) \quad J_1 \cdot J_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \varphi = J_1 \cdot J_3 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varphi,$$



Черт. 110. Катушки фазометра.

откуда

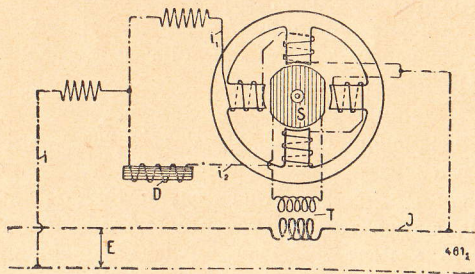
$$(24) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{J_3}{J_2} \operatorname{tg} \varphi.$$

Угол поворота  $\alpha$  служит, следовательно, мерой для угла сдвига фаз  $\varphi$ .

Если одну какую нибудь катушку закрепить, а две других, взаимно связанных, сделать подвижными, то последние повернутся также на угол  $\alpha$  и отношение между  $\alpha$  и  $\varphi$  остается прежним (как в уравнении 24).

#### 47. Фазометр Гартмана и Брауна.

Здесь, как и в приборе Феррарис, на железном сердечнике с четырьмя полюсами помещаются четыре катушки



Черт. 111. Схема включения фазометра Гартмана и Брауна.

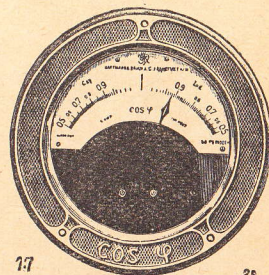
(черт. 111). В изображенном на чертеже случае, каждой две катушки (верхняя и левая; нижняя и правая) включены последовательно. Каждая пара производит, стало быть, поле и оба поля образуют друг с другом известный угол в пространстве. Угол этот не равен точно 90°. Также и токи, идущие по обоим парам катушек, сдвинуты друг относительно друга не точно на 90°. Вслед-

ствие этого вывод конечного уравнения (24) будет несколько иной, чем показанный выше, но, принципиально, результат этого вывода остается прежним.

Подвижная катушка, форма которой видна из черт. 111, помещается в середине, между четырех полюсов.

В нее идет ток, пропорциональный главному току, для чего между катушкой и главными проводами включается преобразователь (трансформатор) тока. Неподвижные катушки получают ток от напряжения, одна пара — ток одной фазы с ним, что достигается с помощью безиндукционных сопротивлений, другая же пара-ток значительно, относительно напряжения, сдвинутый с помощью реактивной катушки.

Направляющей силы в приборе нет. Подвижная катушка получает ток посредством очень мягких и гибких лент. Угол поворота ее служит, согласно уравнения (24), мерой фазного угла или коэффициента мощности,  $\cos \varphi$ . Скала прибора градуирована на  $\cos \varphi$  (черт. 112).

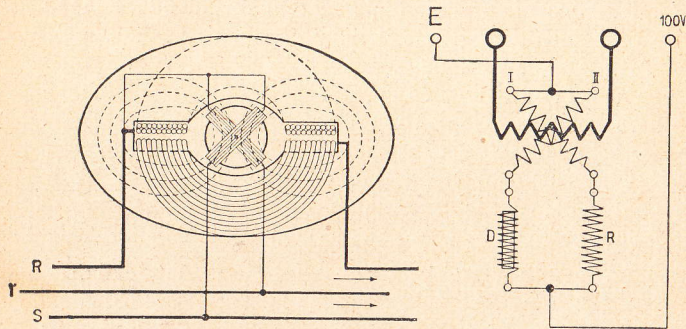


Черт. 112. Измеритель сдвига фаз ( $\cos \varphi$ ) Гартмана и Брауна

#### 48. Измеритель коэффициента мощности с перекрестной катушкой Сименса и Гальске.

Катушка I на черт. 110 неподвижна, обе крестообразно помещенных катушки (перекрестная катушка) могут вращаться. Неподвижная катушка, как катушка тока в ваттметре, снабжена железным корпусом (сообщением) (черт. 113). Перекрестная катушка находится в поле

неподвижной. Каждая из двух катушек, составляющих перекрестную, получает ток, пропорциональный напряжению, одной, или же различных фаз, как при кон-

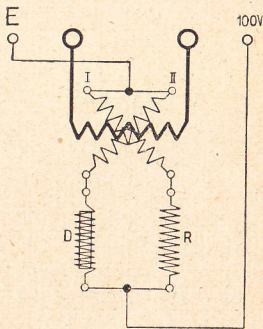


Черт. 113. Схема измерителя коэффициента мощности с перекрестной катушкой Сименса и Гальске.

струкции Гартмана и Брауна; через неподвижную катушку идет главный ток (черт. 114). Угол поворота служит мерой коэффициента мощности. Конструкцию прибора показывает черт. 115.

#### 49. Действие измерителя сопротивления или Омметра.

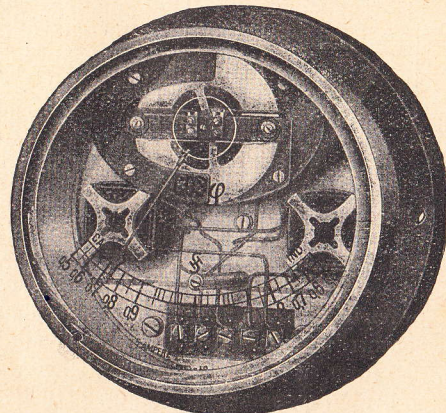
На основании закона Ома можно измерять величину сопротивления непосредственно, как измерителем тока, так и измерителем напряжения. Для этого пользуются либо определенным напряжением, измеряя ток, производимый им в сопротивлении, которое надо определить, либо же, пропуская определенный ток из какого нибудь источника через неизвестное сопротивление и измеряя напряжение у его зажимов. В обоих случаях у измерительного прибора может быть скала омов, непосред-



Черт. 114. Схема включения измерителя коэффициента мощности Сименса и Гальске.

ственно показывающая величину измеряемого сопротивления.

Первым способом пользуются при определении больших сопротивлений и строят для этой цели приборы для испытания изоляции, или приборы для измерения изоляции. Второй способ применяется для измерения меньших сопротивлений с помощью т. наз. омметров.



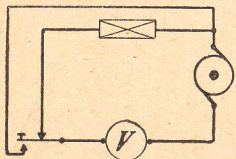
Черт. 115. Измеритель коэффициента мощности Сименса и Гальске.

Кроме этих приборов, основанных на измерении тока, или напряжения, строят измерители сопротивления, в основу которых положено сравнение неизвестного сопротивления с каким-либо известным, так называемые омметры с перекрестной катушкой.

#### 50. Омметры для больших сопротивлений. (Измерители изоляции. Мегомметры.)

Применяемое напряжение получается или от элементов (сухих элементов; аккумуляторов), или же от ручного индуктора. Амперметр для малых токов (гальваноскоп со стрелкой; прибор с подвижной катуш-

кой), собственное сопротивление которого выбрано так, что, включенный непосредственно на напряжение, как вольтметр, он дает максимальное отклонение (черт. 116, выключатель опущен вниз), включается так, что источник тока, амперметр и подлежащее определению сопротивление образуют одну цепь (черт. 116, выключатель поднят вверх). Отклонение прибора производится током, получающимся согласно закону Ома и явля-



Черт. 116.  
Схема включения омметра.

щимся, следовательно, мерой общего сопротивления цепи, или же, в виду того, что сопротивление прибора остается неизменным и может быть исключено, мерой величины измеряемого сопротивления. При полном отклонении, измеряемое сопротивление равно 0 омов. Чем сопротивление больше, тем меньше отклонение прибора. Омическая шкала обратна, следовательно, шкале амперов.

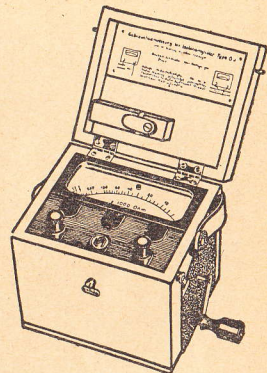
Согласно вышеописанному, прибор работает, как измеритель тока. Но можно рассматривать его и как измеритель напряжения: он измеряет напряжение у своих же зажимов. Так как общее напряжение известно (черт. 116, выключатель вниз), то разница между общим напряжением и показанием вольтметра (когда на черт. 116, выключатель обращен вверх) идет на долю неизвестного сопротивления. Отсюда легко определить его, коль скоро известно сопротивление вольтметра. Каждому отклонению вольтметра соответствует, следовательно, определенная величина измеряемого сопротивления. Необходимым условием для правильности измерения является правильная высота напряжения,

или, другими словами, прибор, при включении его на напряжение, должен давать то максимальное отклонение, которое является точкой нуля для омической шкалы (черт. 118).

При индукторе (черт. 117), это достигается соответствующей скоростью вращения его рукоятки. На приборе имеется кнопка, на которую нажимают во время вращения (черт. 116, выключатель вниз) до тех пор, пока не получится максимальное отклонение (что бывает при трех, примерно, оборотах в секунду). Тогда кнопку отпускают (черт. 116, выключатель вверх), продолжая вращать рукоятку и стрелка прибора показывает на омической шкале величину измеряемого сопротивления. Для того, чтобы не нужно было, при этом, наблюдать за скоростью вращения, прибор иногда бывает снабжен особой, падающей скобой, удерживающей стрелку на омической шкале, как только скорость вращения правильна.

При элементах напряжение не может быть изменено. Но подвижную катушку можно привести к правильному отклонению при включении батареи посредством магнитного шунта, усиливающего, или ослабляющего, постоянное поле.

Ручные индукторы строятся для напряжения в 110, 220 и более вольт. Они дают пульсирующий постоянный ток, так как, на их якоре, с двутавровым сердечником,



Черт. 117.  
Омметр с ручным индуктором.

только одна катушка, следовательно и коллектор состоит из двух только частей. Для специальных целей, индукторы строят также с якорной обмоткой, состоящей из нескольких частей, дающие равномерное напряжение.

Такие приборы пригодны, прежде всего, для определения больших сопротивлений, например, измерения



Черт. 118. Скала омметра.

сопротивления изоляции проводов, или обмоток машин. Строят их для сопротивлений до 500 мегом. Если они назначаются для точного определения, то называются Приборами для измерения изоляции. Если же они должны давать лишь приблизительные величины каковы, например, аппараты с гальваноскопами со стрелкой, то их называют приборами для испытания изоляции.

### 51. Омметр для меньших сопротивлений.

Если измеряемое сопротивление мало, в сравнении с сопротивлением прибора, то попеременное включение прибора и сопротивления не дает точного результата. В этом случае измеряемое сопротивление и другое, значительно его большее, включаются последовательно,

прибором же измеряют потерю напряжения в первом. Здесь также можно, с достаточной точностью, отсчитать величину сопротивления на омической шкале. Отклонение, в этом случае, уменьшается с уменьшением сопротивления.

Такие омметры строятся для малых сопротивлений от 0 до 1,5 ома. Одно деление их шкалы соответствует тогда, например, 0,02 ома.

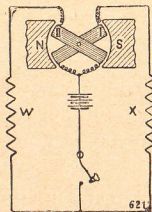
### 52. Измеритель сопротивления с перекрестной катушкой.

Чтобы быть в полной независимости от высоты напряжения источника тока, прибор с подвижной катушкой устраивают с двумя, перекрещивающимися между собой, катушками, помещенными, вместо одной подвижной катушки, в поле постоянного магнита. По одной из них идет ток через сопротивление, величина которого известна, по другой — через то, которое надо определить. Моменты вращения обеих катушек направлены друг против друга. Направляющей силы нет, так что у прибора нет и нулевой установки.

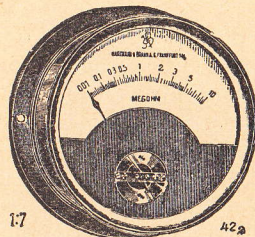
Если бы поле было равномерно, как это обыкновенно бывает в приборах с подвижной катушкой, то перекрестная катушка, следуя большему моменту вращения, всегда давала бы максимальное отклонение вправо, или влево. Поэтому поле между полюсами и цилиндром, с помощью соответствующей формы полюсных наконечников и цилиндра (например, овального цилиндра), делается неравномерным, так что каждому соотношению моментов вращения соответствует определенное отклонение.

При малых сопротивлениях, измеряемое сопротивление включается параллельно к измерительной катушке, при большом — последовательно с ней.

Омическая скала градуируется с помощью уже известных сопротивлений. Источник тока надо принимать во внимание лишь постольку, поскольку приходится считаться с конструктивными особенностями приборов, рассчитанных, конечно, на некоторое, приблизительно напряжение. Точно же определенных напряжений для них не требуется.



Черт. 119. Схема включения измерителя сопротивлений в Терекретной катушкой. Гартмана и Брауна.



Черт. 120. Мегомметр Гартмана и Брауна.

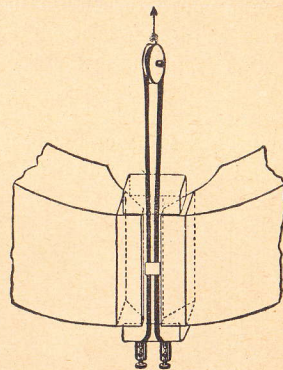
Такие приборы строил сначала Гартман и Браун, согласно Т. Бругеру теперь же их строят и другие фирмы. Мегомметр Гартмана и Брауна показывает черт. 120.

### 53. Осциллограф.

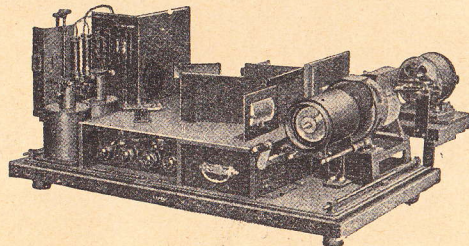
Осциллограф был изобретен М. А. Блонделем в 1893 г.; он предназначен для того, чтобы показывать наглядно весь ход весьма быстрых перемен тока и напряжения, например, изменения силы тока и напряжения при переменном токе. Действие его подобно действию прибора с подвижной катушкой.

Между полюсами магнита с сильным возбуждением,

помещается металлическая измерительная лента петлеобразной формы (черт. 121). По одной стороне ее ток идет, следовательно, снизу вверх, а по другой сверху вниз, благодаря чему лента приходит во вращение. Маленькое зеркальце, величиной около 1 кв. мм. или еще меньше, укреплено на планке, соединяющей обе стороны ленточной петли; при движении этого зеркальца движется также и световой луч, падающий на него из дуговой лампы. Вследствие малой инерции и значительной направляющей силы, петля обладает высоким числом собственных колебаний, а именно около 6000 в секунду; она следует,



Черт. 121. Измерительная петля с зеркальцем между магнитными полюсами.



Черт. 122. Осциллограф Сименса и Гальске.

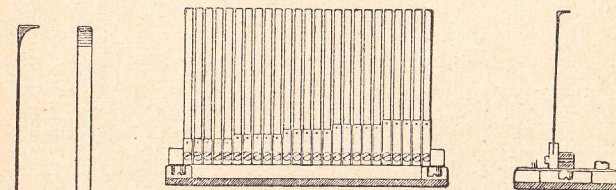
поэтому, точно за видом кривой переменного тока и отмечает последнюю. Эта отметка производится фото-



графическим путем: Светочувствительная бумага движется с соответственной скоростью перед прибором и на нее действует световой луч. Черт. 122 показывает общий вид осциллографа Сименса и Гальске.

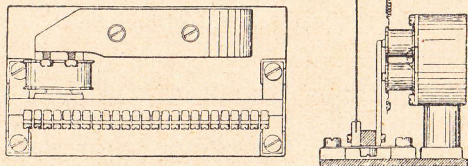
#### 54. Частомер.

Частомеры бывают с вибрирующими язычками и со стрелкой. Последние применяются редко и потому



Черт. 124. Планка с пружинами.

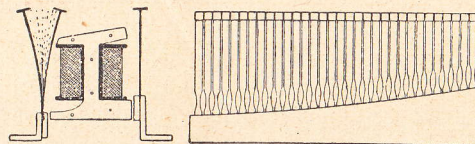
Черт. 123.  
Пружина  
частомера  
Фрамса из  
стали для часо-  
вых пружин.



Черт. 125. Частомер Фрамса

здесь не описываются. Первый же род частомеров основан на следующем принципе: пружина, получившая толчек, совершает собственные колебания с известным ритмом. Амплитуда этих колебаний растет, если внешний толчек повторяется с тем же ритмом. На другую же пружину, с иным числом собственных колебаний, эти толчки действуют мало, или вовсе не оказывают никакого действия.

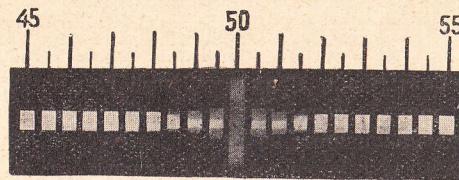
Несколько пружин, число собственных колебаний каждой из которых отлично от других, подвергаются равномерным толчкам, число которых в минуту желательно определить. Из всех пружин сильно колебаться



Черт. 126. Частомер по Гартману-Кемпфу.

будет лишь та, число собственных колебаний которой согласуется (находится в резонансе) с внешними толчками.

В приборе Фрамса, основанном на этом принципе, несколько пружин, число собственных колебаний каждой из которых известно, помещены горизонтально



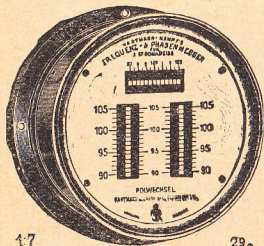
Черт. 127. Картина колебаний частомера

на планке (черт. 124). На головном конце каждой пружины укреплен белый, эмалированный щиток, размером от 3 до 7 кв. мм. (черт. 123). Посредством катушки, по которой идет переменный ток и помещающегося на планке якоря (черт. 125); планка, вместе с пружинами, приводится в вибрирующее движение, ритм которого согласуется с числом перемен полюсов

переменного тока. Все пружины дрожат, но дрожание лишь одной из них будет совершаться отчетливо и с большой амплитудой колебания. Эта пружина и показывает частоту переменного тока (черт. 127). Прибор этой конструкции, фирмы Сименс и Гальске, расходует около 2,5 ватт энергии при 110 вольттах.

В частомере Гартмана-Кемфа, введенном с 1900 года, все язычки помещаются в пульсирующем поле электромагнита переменного тока (черт. 126). Все они, следовательно, то притягиваются, то отталкиваются; но, при этом, лишь одна из них колеблется особенно сильно и показывает частоту переменного тока (черт. 127). Приборы, основанные на этом принципе, строит Гартман и Браун.

Черт. 128 представляет прибор для параллельного включения, Гартмана и Брауна. Левый ряд язычков дает число периодов сети; правый ряд — число периодов включаемой машины; на верхний же, горизонтальный ряд, оказывают одновременно действие и сеть и машина. Язычки этого ряда колеблются беспорядочно до тех пор, пока сеть и машина не будут в фазе и синхронизме. Когда и то и другое достигнуто, то получается ясная картина колебаний соответствующего язычка, что указывает момент для включения (ср. также черт. 3 и 4 на стр. 9).



47

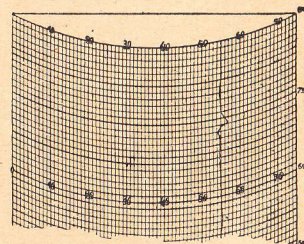
29<sub>2</sub>

Черт. 128. Частомер с указателем синхронизма Гартмана и Брауна.

## X. Регистрирующие приборы.

### 55. Действие этих приборов.

Они непрерывно записывают мгновенные показания измерительных приборов и дают этим возможность удобного и надежного контроля работы. С этой целью, стрелку любого прибора снабжают пишущим приспособлением, а скалу заменяют полоской бумаги с соответствующими делениями; эта полоска движется часовым механизмом с равномерной скоростью перед стрелкой. На бумаге получается прямая линия, если стрелка не движется, и кривая, если положение ее меняется. Деления бумажной полоски соответствуют делениям скалы. Если последние нанесены по дуге круга, то и координаты бумажной полоски тоже дугобразны (черт. 129).



Черт. 129.  
Дугобразные координаты.

Для наблюдения и оценки показаний прибора удобнее, если движение стрелки происходит не по дуге круга, но по прямой линии. Тогда и координаты бумажной полоски прямые.

Скорость, с которой движется бумажная полоска перед пером весьма различна и соответствует той цели, для которой регистрирующий прибор назначен.

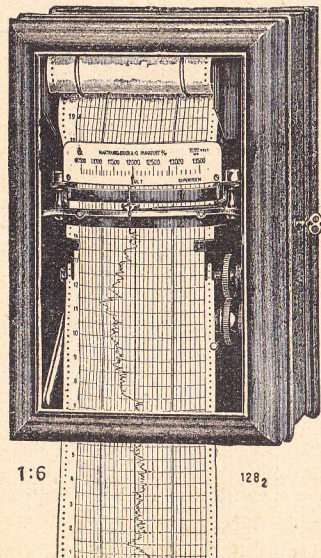
Если требуется записывать лишь постепенно наступающие изменения, то достаточно скорость движения от 0,5 до 10 мм. в минуту. При такой скорости пишущее приспособление работает еще хорошо. В исключитель-

ных случаях, скорость может быть увеличена до 60 мм. в минуту.

При еще более быстро происходящих изменениях, например, при пуске в ход моторов для прокатных станков, или подъемных кранов, обыкновенные пишущие приспособления не годятся и прибегают к искровому записыванию. Скорость движения бумаги увеличивается, при этом, до 2000 мм. в минуту.

Наконец, при изменениях, происходящих в течение одной сотой и менее, секунды, надо призвать на помощь осциллограф.

### 56. Пишущие приспособления.



Черт. 130. Регистрирующий прибор Гартмана и Брауна с подвижной катушкой.

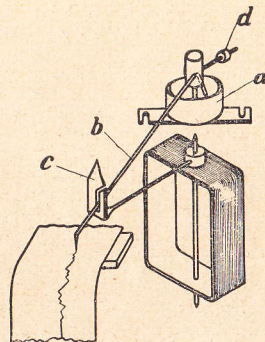
Всего проще к соответственно приспособленному концу стрелки измерительного прибора прикрепить, тем, или иным способом, перо. Последнее наполняется чернилами, запас которых возобновляется, обыкновенно, каждые несколько дней. Это перо, однако, значительно увеличивает вес подвижной системы и стесняет ее движение; поэтому многие фирмы для целей регистрации строят приборы с большим моментом вращения.

Гартман и Браун (черт. 130) применяют

стеклянное перо, сделанное из стеклянной капиллярной трубки. Оно подвешено спереди к стрелке, нижний же конец его движется по желобу с чернилами, идущему вдоль всего пути передвижения стрелки по бумаге. Чернила всасываются вверх и горизонтальным острым переносятся на бумагу.

Акционерное Общество „Д-р Пауль Мейер“ применяет с 1908 года пишущее приспособление, схематически изображенное на черт. 131. В центре, над подвижной системой, помещается сосуд с краской и в него погружается одним концом, вращающаяся на острие, капиллярная трубка; другой конец трубки входит в особый наконечник стрелки, который выдвигает его по бумаге. Трубка уравновешена так, что не оказывает на стрелку почти никакого давления. На бумаге это перо чертит кривую с дугообразными координатами. Подобное же устройство пишущего приспособления у А.Е.Г.

Медленно изменяющиеся величины могут быть записаны посредством отдельных точек. Стрелке дается, в этом случае, острое, направленное перпендикулярно скале, или бумаге. Через известные промежутки времени, например, каждую минуту, или каждые пол-минуты, стрелка нажимается особым рычагом на бумагу и отмечает на ней точку. Если позади бумаги поместить подушечку с краской, то, при уколе



Черт. 131. Пишущее приспособление регистрирующего прибора Д-ра П. Мейера.

стрелкой, краска переходит на бумагу. При этом способе один и тот же пишущий прибор может отмечать несколько различных величин разного цвета краской, для чего, как это делают, например, Гартман и Браун, прибор включается, в определенной последовательности, в цепи различных токов и, при этом, каждый раз подушка с краской, находящаяся позади бумаги, заменяется другой, с соответствующей току краской.

При искровом записывании Сименс и Гальске производят маленьким индуктором искры, проскакивающие с ножеобразной стрелки, сквозь бумагу, на острореберную пластинку, помещающуюся позади бумаги, перпендикулярно к ней, и оставляющие на быстродвижущейся бумаге ясно видимую, жженую линию, обозначающую отклонения стрелки.

При осциллографах кривая наносится фотографически.

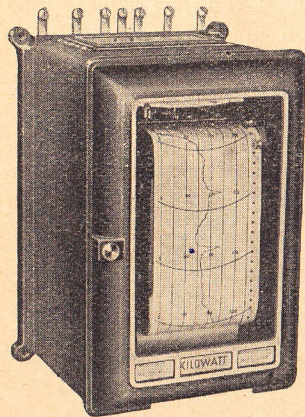
### 57. Направление бумаги и пера.

Если продвигать бумагу в плоскости обычной, дугообразной, скалы, то перо зачерчивает, при изменениях отклонения стрелки, более длинные, или более короткие, дуги круга. Мерой регистрируемой величины является, следовательно, дугообразная линия (черт. 132). Для оценки, а в особенности для планиметрирования, это не удобно, хотя, при известном навыке, особых затруднений не представляет.

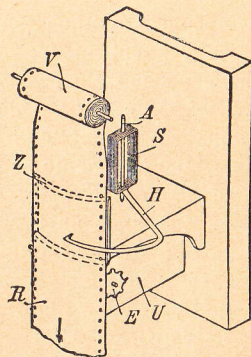
Имеются различные приспособления для получения, вместо кривых, прямых линий. Прежде всего пытались построить приборы с прямолинейным движением измерительной системы. Попытки эти оставлены.

Потом стали применять прямолинейное направление пишущего приспособления; Сименс и Гальске, с помощью особого направляющего рычага эллипсо-

видной формы (черт. 7), а А.Е.Г. — посредством кулисного направляющего рычага, преобразовали круговое движение стрелки в прямолинейное. Но при этом, однако, искажаются деления; прежнее равномерное деление становится неравномерным. Для избежания



Черт. 132. Записывающий ваттметр Д-ра П. Мейера.



Черт. 133. Схема записывающего прибора Гартмана и Брауна.

этого Сименс и Гальске применяют добавочные пружины, вызывающие добавочные моменты вращения.

Много проще передвигать бумагу не в плоскости скалы, но перпендикулярно к последней и изгибать ее по дуге круга на цилиндрическом сегменте. При стрелке с крючком, Гартмана и Брауна (черт. 133), например, можно достичь зачерчивания линий вполне пропорционального угловым отклонениям. Чтобы движение бумаги было правильно, ее прижимают особой металлической дужкой к цилиндрическому сегменту; на этой же

дужке помещается, одновременно, скала и чернильный желобок (черт. 130).

Подобного же результата достигает Сименс и Гальске, изгибая стрелку вперед, под прямым углом, которая, вследствие этого, движется взад и вперед, перед соответственно изогнутой полоской бумаги, зачерчивая, при этом, отклонения стрелки в прямолинейных координатах.

Совершенно иное решение этого вопроса дает Д-р Гуттенгеймер, он применяет два одинаковых прибора, на вращающихся осях которых, насажено по легкому колесу. Через оба колеса перекинута легкая же нить, движущаяся прямолинейно взад и вперед, при чем движение это точно соответствует угловому вращению подвижной системы.

Укрепленное на этой нити перо записывает, следовательно, отклонения в прямолинейных координатах.

Бумага помещается либо на барабане, после одного оборота которого, примерно каждые сутки, она должна быть заменена другой, либо же бумага непрерывно движется перед пером, отрезками длиной около 20 мм., наматываясь, как лента пиццущей машины, с одного барабана на другой.

## XI. Электрические счетчики.

### 58. Назначение их.

Электрические счетчики должны определять расход электрической энергии и, именно, в ваттчасах. Они определяют, следовательно, произведение напряжения, тока, коэффициента мощности и числа часов, и их называют счетчиками ваттчасов, или киловатт-часов.

В некоторых случаях напряжение можно считать постоянным. Тогда достаточно считать лишь ампер-часы. Производится это счетчиками амперчасов. Чтобы получить число ваттчасов, надо помножить число ампер-часов на напряжение.

В известных случаях взятую мощность можно полагать постоянной, например, если требуется осветить зал с одним и тем же числом ламп. Тогда достаточно отмечать лишь рабочие часы, для чего могут служить обыкновенные часы, идущие лишь тогда, когда включен ток. Достигается же это с помощью особого электромагнитного рычага.

Счетчики весьма важны для электрических станций, так как на их показаниях основываются расчеты с потребителями электрической энергии. От счетчиков требуется, кроме точности показаний при всякой нагрузке и продолжительного срока службы, еще и малый расход на них энергии, надежные показания даже совсем малой нагрузки и полное бездействие при отсутствии таковой.

Существующие законоположения указывают до какой степени счетчики, являющиеся в продаже, должны удовлетворять этим требованиям от них. Предписания относительно этого содержатся в „порядке испытания электроизмерительных приборов“ от 28 декабря 1901 года и указывают, прежде всего, допускаемые отклонения показаний счетчиков при различной нагрузке. Государственный Физико-Технический Институт (PTR) в Шарлоттенбурге подвергает системы счетчиков испытанию и последние допускаются лишь в том случае, если удовлетворяют соответствующим требованиям. При этом каждая система получает особый номер, ставящийся на счетчике под знаком  $\square$  (например  $\square 45$ ).

По конструкции различают: Счетчики моторные, счетчики с маятником и счетчики электролитические. Последние пригодны лишь для постоянного тока и считают амперчасы. Первые же два рода счетчиков могут служить для постоянного, переменного и трехфазного токов и строить их можно, как для счета амперчасов, так и для счета ваттчасов.

### 59. Действие моторных счетчиков.

В ваттметрах момент вращения, получающийся вследствие действия тока и напряжения, под влиянием направляющей силы, действует так, что вызывает лишь известное отклонение подвижной системы.

Если же предоставить моменту вращения возможность действовать свободно, то подвижная система придет во вращение, совершающееся со скоростью тем большей, чем больше момент вращения. Число сделанных ею оборотов служит, следовательно, мерой затраченных ваттчасов, если устроить так, что скорость вращения пропорциональна мощности.

Таким образом счетчики ваттчасов могут строиться, как по принципу электродинамических, так и по принципу индукционных ваттметров.

В индукционных ваттметрах, достаточно удалить спиральные пружинки, чтобы получить аппарат, подобный мотору трехфазного тока с коротко-замкнутым якорем. При переделке электродинамического ваттметра в счетчик, надо еще, устроить коллектор и щетки, принять меры к тому, чтобы направление момента вращения не изменялось и тогда прибор представит собой маленький мотор постоянного тока. Ось вращения, в обоих случаях, вертикальна, для уменьшения трения.

Пропорциональность скорости вращения и мощности достигается почти исключительно торможением. Сидящий на оси вращения алюминевый диск (или алюминевый же барабан) пересекает, при вращении, поле постоянного магнита. При этом в нем возникает ЭДС и токи, пропорциональные скорости вращения и действующие, как тормоз. Создаваемый ток и напряжением, момент вращения ускоряет, следовательно, вращение диска, до тех пор, пока момент торможения не станет ему равным. При этом устанавливается скорость вращения, пропорциональная произведению тока и напряжения.

Движение системы передается посредством бесконечного винта и зубчатого колеса счетному механизму, показывающему число сделанных оборотов, либо с помощью стрелки, движущейся по циферблату, либо же, что чаще встречается, перескакивающими, или передвигающимися, цифрами, приводимыми в действие роликовым счетным механизмом. Для проверки на тормозном диске делается, обыкновенно, отметка, дающая возможность счета оборотов оси. Такие счетчики, при полной нагрузке, делают около одного оборота в секунду.

Соотношение между показаниями счетного механизма и числом ваттчасов называется постоянной прибора. В новейших счетчиках оно равно 1, так что числа, показываемые счетным механизмом, непосредственно дают ваттчасы, или киловаттчасы.

Для компенсации трения в подшипниках, у щеток и в счетном механизме служит добавочный, вспомогательный момент вращения. Этим достигается, что такие счетчики начинают действовать при 0,3—1,0% полной нагрузки. При полной нагрузке они развивают момент вращения от 7 до 12 смгр. Чтобы

воспрепятствовать им начинать действие без нагрузки, а также продолжать действовать по прекращении ее, служит легко действующее, тормозное приспособление.

Опорная цапфа подвижной системы и верхний конец оси, который, в большинстве случаев, выделяется также в виде цапфы, по твердости равны стеклу и тщательно отполированы. Первая вращается в шаровидно отшлифованном драгоценном камне (сапфире), второй — в промежуточном подшипнике. Трение, благодаря этому, сводится к минимуму. Подшипники и цапфы легко сменяемы. Все составные части счетчика прочно укреплены на литой пластинке, или же на медной раме. Непроницаемая крышка защищает их от пыли и грязи. Для включения счетчиков в сеть с ним вместе доставляются точные схемы.

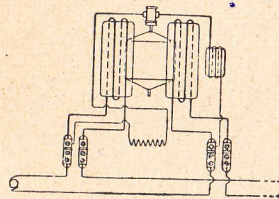
### 60. Электродинамические счетчики ваттчасов.

Эти счетчики основаны на электродинамическом принципе (см. V. Электродинамические измерительные приборы). Конструкция их подобна конструкции моторов постоянного тока, но без применения в ней железа (черт. 134 и 135).

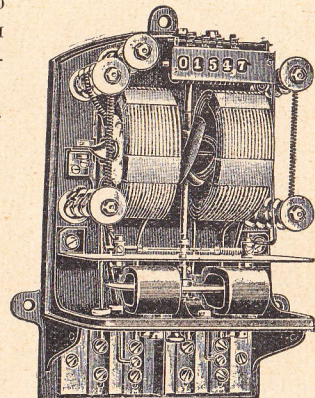
Поле возбуждения создается одной, или двумя, неподвижными катушками, по которым проходит главный ток. В этом поле помещается небольшой, легкий, барабанный якорь с вертикальной осью и с небольшим числом катушек, свободно на нем намотанных (обыкновенно катушек три). Ток идет в него от главного напряжения через добавочное сопротивление и вспомогательную катушку. Коллектор, в большинстве случаев состоящий, соответственно числу катушек, из трех частей, делается, для уменьшения трения, малого

диаметра и сидит на вертикальной оси над, или под якорем. По коллектору скользят тонкие проволочки, или же тонкие, металлические полоски, подводящие и отводящие ток. Материалом для пластинок коллектора и для щеток служит серебро, или золото. Момент вращения, как в электродинамическом ваттметре, пропорционален произведению тока и напряжения, а при переменном токе — произведению  $J \cdot D \cdot \cos \varphi$ .

Благодаря магнитному торможению, число сделанных оборотов



Черт. 134. Схема электродинамического счетчика ваттчасов.



Черт. 135. Счетчик ваттчасов  
Завода счетчиков Изария.

служит мерой затраченных ваттчасов. Вспомогательная катушка, включенная на напряжение, создает постоянный, небольшой момент вращения, назначенный компенсировать трение подшипников, счетного механизма и тормоза. Прибор начинает действовать при 0,8—1% полной нагрузки. Торможение, служащее для предотвращения холостого хода, производится следующим образом: маленький крючок из железной проволоки укреплен на оси вращения и проходит, при каждом обороте ее, вблизи постоянного магнита, или особой

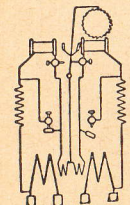
электромагнитной катушки, включенной на напряжение. При холостом ходе крючек этот задерживается магнитом, а с помощью его задерживается и вращение всей подвижной системы.

Вес последней составляет едва 100 гр., почему, при переноске, для предохранения очень чувствительных подшипников от повреждения ее нужно арретировать (закреплять).

Расход энергии на счетчик очень мал и составляет в цепи напряжения от 1,0 до 1,5 ватт при 110 вольт; в катушке же главного тока — от 2 до 6 ватт, при полной нагрузке.

Эти счетчики применимы, как для переменного и трехфазного, так и для постоянного тока, но, обыкновенно, ими пользуются лишь для последнего. При высоком напряжении нужно предвключаемое сопротивление. Для большой силы тока, неподвижные катушки делают из небольшого числа (часто из одного лишь) оборотов голой, медной проволоки большого диаметра. Шунтами пользуются редко.

Коллектор и щетки представляют нежелательное добавление к таким моторным счетчикам. Чтобы устранить их А.Е.С. построило вибрационные счетчики, в которых подвижная система не вращается, но качается взад и вперед (черт. 136). Две катушки напряжения, включающиеся и выключающиеся попеременно, подвижны; катушки же главного тока, между которыми качаются первые, — неподвижны. В конечных пунктах качания катушки напряжения каждый раз переключаются, так что направление движущей силы меняется и система должна совершить обратное качание. Эти



Черт. 136. Схема вибрационного счетчика А.Е.С.

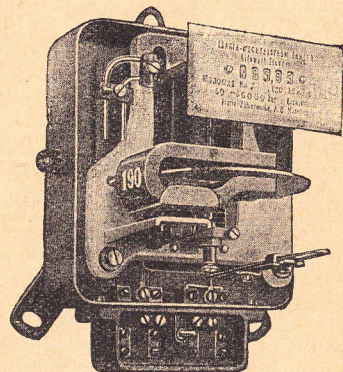
качания сосчитываются особым счетным механизмом и служат мерой затраченных ваттчасов.

### 61. Индукционные счетчики ваттчасов.

Эти приборы основаны на том же принципе, как и индукционные ваттметры, называемые также ваттметрами трехфазного тока, или ваттметрами Феррарис. Они пригодны, поэтому, только для переменного, или трехфазного тока. В них имеется движущая система, состоящая из сердечников листового железа, с обмотками для тока и напряжения.

Железные сердечники с их катушками (черт. 137) размещены так, что их поля пересекаются подвижным диском, или барабаном, из алюминия, в котором возникают, вследствие этого, вихревые токи и создается момент вращения. Соответственными мерами (как, например, описанными в § 30., Измерение мощности индукционными приборами<sup>4)</sup>) достигается то, что оба поля сдвинуты одно относительно другого не на фазный угол  $\varphi$ , т. е. угол между током и напряжением, но на угол  $(90 \pm \varphi)$ ; благодаря чему момент вращения, действующий на диск, пропорционален нагрузке, подлежащей измерению, т. е.:  $J \cdot D \cdot \cos \varphi$ .

Конструкция этих приборов сходна или с конструк-



Черт. 137. Индукционный счетчик ваттчасов Завода Изария.



цией ваттметров Феррарис, причем подвижная система представляет собой барабан, или же с конструкцией индукционных ваттметров, описанных в § 29, и подвижной системой служит диск (черт. 137).

Тормозный магнит действует на тот же диск, или барабан, который подвержен также действию момента вращения. Назначение его поддерживать скорость вращения всегда точно пропорциональной нагрузке.

Вспомогательный момент вращения, для компенсации трения в подшипниках и счетном механизме, создается помещенным, перед одним из железных сердечников (обыкновенно перед несущим катушку напряжения) металлическим листом, вследствие действия которого, поле этой катушки превращается, частью, в блуждающее. Благодаря этому, постоянно имеется небольшой момент вращения, даже и тогда, когда по катушке главного тока никакого тока не проходит, почему такие счетчики начинают действовать уже при 0,3% полной нагрузки. Для избежания холостого хода служит тормозный крючок, маленькая, железная проволочка, сидящая на оси якоря и, проходящая при вращении, мимо угла, намагничиваемого катушкой напряжения и оказывающего на нее, следовательно, притягивающее действие.

Для установок трехфазного тока, строятся счетчики с несколькими движущими системами (для включения двух ваттметров без нулевого провода — с двумя; для четырехпроводных установок с нулевым проводом — с тремя) в одной общей коробке. Вращающиеся диски сидят в этом случае один над другим на общей оси и складывают автоматически отдельные моменты вращения. В одной из конструкций счетчиков для трехфазной системы с нулевым проводом, две

движущих системы работают на один общий диск, третья же движущая система — на второй диск, на который действует также и тормозный магнит.

Подвижная система этих счетчиков, состоящая из оси с одним, или двумя алюминиевыми дисками, весит лишь 30—40 гр., так что не требуется никакого особого арретирующего приспособления.

Расход энергии в катушке главного тока составляет около 1 ватта, в катушке напряжения, при 100 вольтах, примерно, столько-же.

Счетчики, построенные по этому принципу, отличаются чувствительностью к перегрузке и к изменениям температуры; изменение числа периодов не оказывает влияния на их показания лишь в пределах до 10%, но, так как, во время действия, частота, не меняется скольконибудь существенно то, значения это не имеет.

Счетчики эти строятся для тока до приблизительно 200 амп. и 600 вольт. При более сильных токах и более высоких напряжениях необходимо применять соответствующие трансформаторы. Шунтом и добавочным сопротивлением, само собою разумеется, пользоваться нельзя.

## 62. Моторный счетчик амперчасов.

Более простой электрический счетчик получается, если, при определении расхода энергии, не принимать во внимание изменения напряжения и, вместо затраченных ваттчасов, определять амперчасы.

Такие счетчики амперчасов строятся, например, по принципу подвижной катушки. Поле возбуждения создается одним, или двумя, постоянными магнитами. Между полюсами их, которым придается соответствующая форма, вращается якорь, состоящий из несколь-

ких, в большинстве случаев из трех, катушек, помещающихся на алюминиевом диске, или барабане. Якорь получает ток, как амперметр с подвижной катушкой, от зажимов шунтового сопротивления, через которое проходит главный ток; передается ток посредством коллектора и щеток. Получающийся момент вращения пропорционален якорному току, следовательно и главному току.

Торможение производится тем же постоянным магнитом, который создает момент вращения; этот магнит возбуждает в диске, или барабане, токи Фуко. Благодаря этому скорость вращения становится пропорциональной току и число сделанных оборотов показывает, следовательно, число амперчасов.

Вспомогательного момента вращения нет, почему такие счетчики, при малой нагрузке, показывают обыкновенно число амперчасов, меньшее действительного. Этот недостаток удалось устранить А.Е.С. посредством сдвига щеток и устройства особой формы коллекторных пластинок.

Подобные счетчики с полем возбуждения от постоянного магнита пригодны, естественно, лишь для постоянного тока.

### 63. Счетчики амперчасов без торможения.

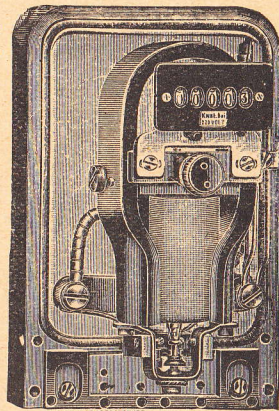
При описанных до сих пор моторных счетчиках, ничего не говорилось о возникающей во вращающемся якоре Противо ЭДС, ибо последняя, при небольшой скорости вращения, ничтожном числе оборотов обмотки и слабом поле возбуждения, мала, а потому не имеет значения в сравнении с действующим напряжением. Пропорциональность скорости вращения нагрузки достигалась с помощью магнитного тормоза.

Если же устранить тормоз и уменьшить трение до

пределов возможности, то счетчик работает несколько иначе. Вращение, вследствие получающегося момента, возрастает до тех пор, пока возникающая в якоре ЭДС не сделается равной напряжению сети. Последнее получается от параллельного сопротивления, включенного в цепь главного тока. Вследствие этого скорость вращения пропорциональна потере напряжения в этом сопротивлении, т. е. пропорциональна току, а число сделанных оборотов дает меру израсходованных амперчасов.

Подобный счетчик представляет собой счетчик амперчасов системы О'К (О'Кеенан) Акц. О-ва Данубиа в Страсбурге в Эльзаве.

Между полюсами постоянного магнита сидит якорь, имеющий форму высокого цилиндра (черт. 138). Он состоит из тонкостенного, открытого сверху, полого цилиндра из миканита; на который нанесено 4, или 6 катушек, в 100 оборотов каждая, соединенных с коллектором, состоящим, соответственно числу катушек, из четырех или шести, пластинок. Коллектор видно на черт. 138, внизу. Внутри якоря всовывается сверху неподвижный, полый железный цилиндр, для создания замкнутого пути силовых линий; сквозь последний проходит якорная ось к счетному механизму, помещаемому вверху. Шунт состоит из константановой

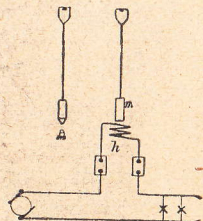


Черт. 138. Счетчик амперчасов Акц. О-ва Данубиа.

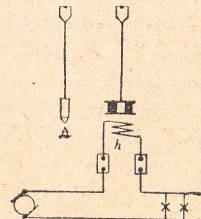
проводами, соразмеренной так, что наибольшая потеря напряжения не превышает 0,5 вольт.

#### 64. Счетчики с маятником.

Уже в 1884 году Г. Арон создал свой первый маятниковый счетчик. Он основан на том, что маятник качается быстрее, или медленнее, если естественное действие силы тяжести усиливается, или ослабляется искусственным путем, в данном случае электромагнитным влиянием. С этой целью, к нижнему концу часового



Черт. 139. Схема пружинного счетчика амперчасов с маятником.



Черт. 140. Схема пружинного счетчика ваттчасов с маятником.

маятника прикрепляется штифтообразный магнит, под которым помещается катушка с вертикальной осью. При отсутствии в катушке тока, число качаний маятника нормально и часы идут правильно. Как скоро по катушке идет ток, притяжение, испытываемое маятником, увеличивается, — он качается, следовательно, быстрее. Опережение, даваемое счетными часами сравнительно с нормальными, дает меру затраченных амперчасов.

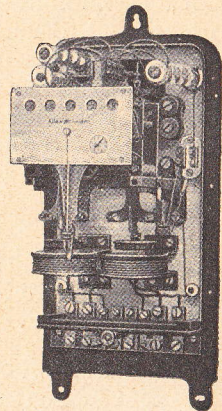
Нормальные часы комбинируются со счетными так, что двое часов, с двумя маятниками, соединены вместе, при чем один из них с обыкновенным, а другие с электро-

магнитным маятником (черт. 139). Оба часовых механизма соединены таким образом, что счетный механизм указывает разницу в колебаниях маятников.

Чтобы иметь возможность считать не только ампер-часы, но также и ватт-часы, постоянный магнит, прикрепленный к маятнику, был заменен катушкой (черт. 140), через которую проходит ток, пропорциональный напряжению. Сила притяжения, добавляющаяся к силе тяжести, становится, таким образом, пропорциональной ваттам, и счетчик с маятником получает возможность считать ватт-часы.

При новых, введенных с 1892 г. счетчиках этого типа (черт. 141), оба маятника находятся под влиянием тока и напряжения. На нижних концах их обеих имеется по катушке напряжения, под которой помещена неподвижная катушка тока. Схема включения такова, что, под влиянием тока и напряжения, качания одного из маятников ускоряются, другого же замедляются. Разница в их качаниях учитывается счетным механизмом, дающим, таким образом, число ваттчасов.

Так как такие маятники почти никогда не удается заставить качаться вполне одинаково, то неправильность показаний прибора может получиться благодаря тому, что эта разница в колебании маятников без нагрузки будет увеличивать, или уменьшать, разницу их колебаний при нагрузке. Возможная ошибка такого рода устраняется тем, что каждые 10 (приблизительно)



Черт. 141. Новый счетчик ваттчасов маятникового типа.

минут, ток в катушках напряжения переключается, так что маятник, до этого переключения качавшийся быстрее другого, меняется с последним ролями. При этом, естественно, приняты соответствующие меры к тому, чтобы счетный механизм не прерывал своей работы. Благодаря этому остроумному приспособлению, ошибка, могущая получиться в течение первых десяти минут, уничтожается в течение следующих 10 минут и т. д.

Оба часовых механизма действуют электрическим заводом. Маятники их небольшой длины и делают около 200 качаний в минуту. Они начинают качание автоматически, как скоро на заводной механизм действует напряжение сети. Арретировать маятники при переноске, в виду их легкости, не требуется.

Большое преимущество счетчиков с маятником — полная их независимость от трения, так как последнее может оказывать влияние лишь на амплитуду колебаний, но не на их число, которое одно имеет значение для счета. По той же причине, такие счетчики начинают регистрировать уже самую незначительную нагрузку, при которой моторный счетчик, вследствие трения, вовсе не начал бы еще работать.

Холостой ход избегается тем, что неподвижная, вспомогательная катушка включена в шунте таким образом, что, при отсутствии тока в катушках главного тока, она стремится привести счетчик в обратное движение. Последнего фактически не происходит, благодаря особому защелкивающему механизму.

Расход энергии не велик, примерно 2 ватта в катушке напряжения, при 110 вольтах, и еще того меньше в катушке тока.

Эти счетчики пригодны как для постоянного, так и для переменного и трехфазного токов, ибо основаны на

электродинамическом принципе. При трехфазном токе оба маятника включаются по системе двух ваттметров.

### 65. Электролитические счетчики.

Уже у Эдиссона, в конце семидесятых годов, явилась мысль воспользоваться основным законом электролиза, по которому равные между собой токи, в течение одного и того же времени, разлагают одинаковые количества какого-либо вещества, для учета амперчасов. Он взял, с этой целью, цинковые пластинки, опущенные в раствор цинкового купороса, что оказалось непригодным для практики.

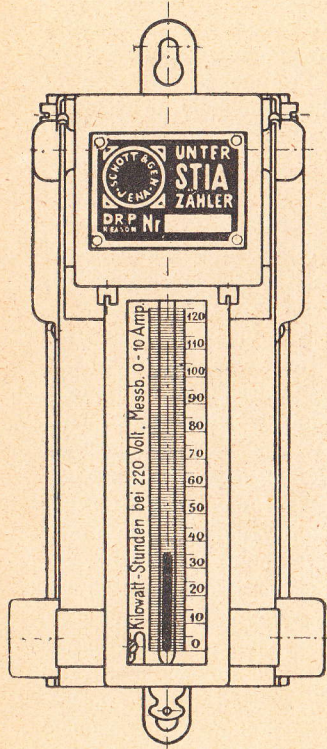
Применимый на практике электролитический счетчик был построен в 1899 году, в Англии, Артуром Райтом (Arthur Wright), по образцу которого строятся, в настоящее время, в Германии, фирмой Шотт и Т-во, в Мёне, счетчики Стиа.

В совершенно запаянном сосуде (черт. 143), из иенского специального стекла, помещается, в верхней части его, кольцевой резервуар, содержащий ртуть А, служащую анодом. Стеклянная решетка В препятствует вытеканию ртути при сотрясениях. Несколько ниже резервуара помещается кольцеобразное же тело К, из кокса, служащее катодом. Электролит, наполняющий весь сосуд, состоит из раствора ртутного иодида и подистого калия. При прохождении тока ртуть осаждается на катоде, сейчас-же отпадает от него и, по воронке, направляется в измерительную трубку G. С помощью скалы H можно, по высоте столбика ртути, видеть, сколько амперчасов, или же, если напряжение известно, сколько ваттчасов, затрачено.

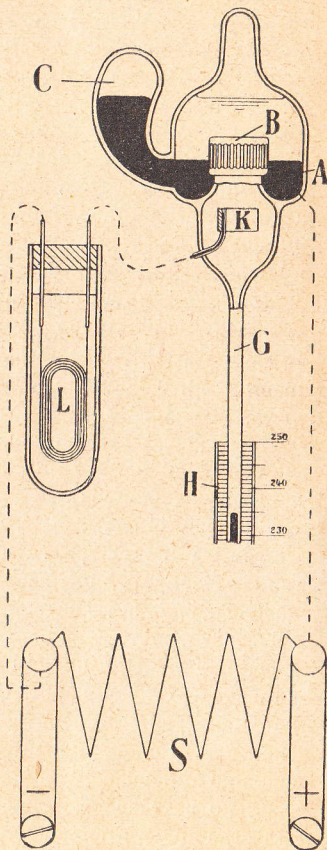
Когда измерительная трубка полна, ее переворачивают, вследствие чего ртуть возвращается к аноду, где

поступает в резервуар С, находящийся сбоку стеклянного сосуда.

Через электролиты проходит, максимум, 0,05 амп.



Черт. 142. Общий вид счетчика Стиа.



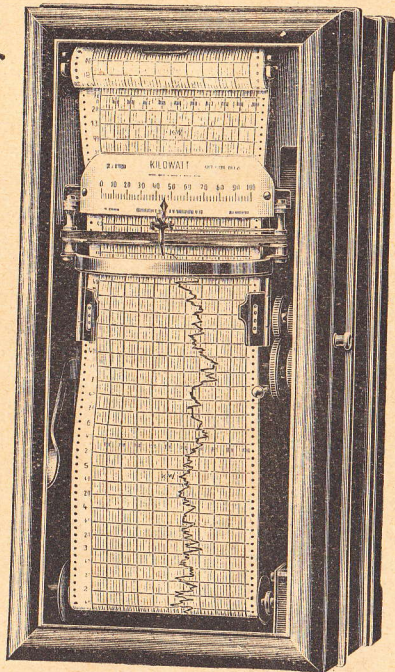
Черт. 143. Схема счетчика Стиа.

Обыкновенно, поэтому, параллельно со счетчиком Стиа включают шунтовое сопротивление S. Последнее выбирается для 10-ти амперного счетчика так, что потеря напряжения, при полной нагрузке, составляет около 1 вольта, так что к счетчику, с его сопротивлением от 1,5 до 3,5 омов, можно предвключить еще сопротивление L, состоящее частью из манганиновой, частью из никелевой проволоки. Никель отличается высоким температурным коэффициентом и служит для компенсации отрицательного температурного коэффициента счетчика.

Конструкция этих счетчиков очень проста. Механические, как и физические (постоянные счетчики) изменения, вследствие изнашивания с течением времени, едва ли возможны, так как подвижных частей, подверженных трению, в нем нет. Точность измерения очень велика и составляет около  $\pm 2\%$ , при полной нагрузке; в то время, как, законом допускаемая точность моторных счетчиков, равна 6,6%, при полной нагрузке; 12%, при  $1/10$  полной нагрузки, и даже 50%, при  $1/25$  полной нагрузки.

Само собою разумеется, что электролитические счетчики годны лишь для постоянного тока.

Акц. О-во  
**ГАРТМАН и БРАУН**  
 ФРАНКФУРТ н/М.



1:5

1291

Всевозможные  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

# GANS & GOLDSCHMIDT



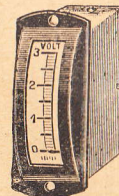
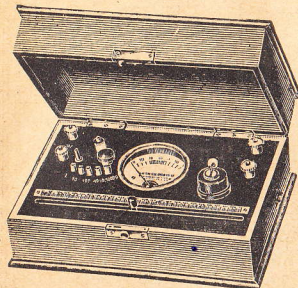
Elektrizitäts-Ges. m. b. H.  
**BERLIN N 39**



Müllerstr. 10.

Основано в 1897.

Специальная фабрика  
 электрических измерительных приборов, сопротивлений и распределительных досок.



## Книги по электротехнике.

Проф. И. ГЕРМАН. Электротехника.

- Ч. I. Введение в технику сильных токов. С 87 черт. и 16 табл. . . . . № 1
- Ч. II. Техника постоянного тока. С 121 черт. и 16 табл. № 2
- Ч. III. Техника переменного тока. С 153 черт. и 16 табл. № 17
- Ч. IV. Получение и распределение электрической энергии. С 100 черт. и 16 табл. . . . . № 75

Проф. Ф. НИТГАММЕР. Электрические распределительные установки.

- Ч. I. Введение, планы распределительных установок, распределительные щиты. С 46 рис. . . . . № 162
- Ч. II. Распределительные установки для высоких напряжений и больших мощностей. Распределительные ящики. Защитные приспособления. С 53 фигурами . . . . . № 172

Проф. Ф. НИТГАММЕР. Электромоторы.

- Ч. I. Двигатели постоянного тока. Многофазные, синхронные, асинхронные моторы. С 55 рис. № 53
- Ч. II. Коллекторные моторы. Конструкции. Экономичность. Связанные с электрическими установками опасности. С 48 рис. . . . . № 54

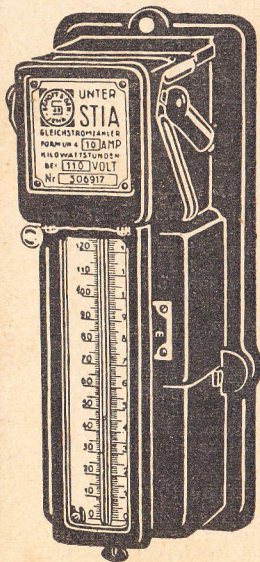
# СЧЕТЧИКИ ДЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

(STIA-ZÄHLER)



Самая минимальная погрешность.

В течение 16 лет многие 100.000 в употреблении.



## Преимущества :

1. Модель 1925 г. не чувствительна к толчкам и сотрясениям.
2. Неограниченная прочность, вследствие отсутствия механических частей.
3. Точный учет самой малой нагрузки.
4. Невозможность ошибочных показаний.
5. Возможность длительной перегрузки на 30%.
6. Возможность повсеместной установки, также в сырых помещениях и транспортных приспособлениях.
7. Никаких шунтовых потерь.
8. Умеренные цены.

\*

JENAER GLASWERK  
Schott & Gen., Jena.  
Abteilung Elz.