№ 9—10. 1898. МАЙ.

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журналъ, издаваемый VI Отдѣломъ

Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

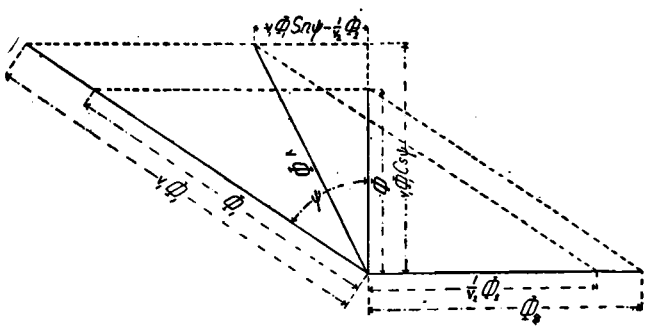
## Теоретическое изслѣдованіе и расчетъ многофазныхъ асинхроничныхъ электродвигателей.

*Инженеръ-Технологъ А. А. Воронова.*

### III. Электродвижущія силы, дѣйствующія на обмотку индуктора, и мощность, получаемая имъ.

§ 8. *Составляющіе и равнодѣйствующій магнитные потоки, пересѣкающіе обмотку индуктора.* Мы видѣли уже, какимъ образомъ вращающійся магнитный потокъ, пересѣкая обмотку арматуры, производитъ въ ней электродвижущую силу; очевидно, что такимъ же образомъ онъ долженъ производить электродвижущую силу и въ обмоткѣ индуктора, и если бы магнитный потокъ, пересѣкающій обмотку индуктора, былъ тотъ же самый, который пересѣкаетъ обмотку арматуры, то всѣ наши разсужденія, относящіяся къ выводу электродвижущей силы, дѣйствующей въ обмоткѣ арматуры, могли бы быть примѣнены и къ обмоткѣ индуктора; но на самомъ дѣлѣ потокъ, пересѣкающій обмотку индуктора, будетъ отличаться отъ того потока, который пересѣкаетъ обмотку арматуры. Дѣйствительно, во-первыхъ, не весь тотъ потокъ, который производится токами индуктора, пересѣчетъ обмотку арматуры, а часть его пройдетъ мимо нея, и во-вторыхъ, не весь тотъ потокъ, который создается токами арматуры, пересѣчетъ обмотку индуктора, а часть его точно также пройдетъ мимо этой обмотки. Поэтому, если составляющіе потоки, создаваемые токами индуктора и арматуры и пересѣкающіе обмотку арматуры, мы обозначали соотвѣтственно черезъ $\Phi_1$ и $\Phi_2$, то потоки, пересѣкающіе обмотку индуктора, будутъ $\nu_1\Phi_1$ и $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$, гдѣ $\nu_1$ и $\nu_2$ суть коэффиціенты Гопкинсона *). Эти два потока будутъ имѣть тѣ же направленія, какъ и потоки $\Phi_1$ и $\Phi_2$; потокъ же равнодѣйствующій ихъ, очевидно, будетъ отличаться отъ равнодѣйствующаго потока $\Phi$ по величинѣ и опережать его по направленію, какъ это ясно видно по построенію, показанному на фиг. 1 и сдѣланному для того случая, когда $\varphi_2 = 0$.

Обозначивъ этотъ равнодѣйствующій потокъ черезъ $\nu\Phi$, можемъ, на основаніи показаннаго




Фиг. 1.

на фиг. 1 построенія, написать для него слѣдующее выраженіе:

$$\nu\Phi = \sqrt{(\nu_1\Phi_1 Cos\psi)^2 + (\nu_1\Phi_1 Sn\psi - \frac{1}{\nu_2}\Phi_2)^2}.$$

Но такъ какъ $\Phi_1 = \frac{\Phi}{Cos\psi}$ и $\Phi_2 = \Phi tg\psi$, то, подставивъ эти величины въ написанное выраженіе и сдѣлавъ въ немъ надлежащія сокращенія, получимъ слѣдующую величину коэффиціента $\nu$:

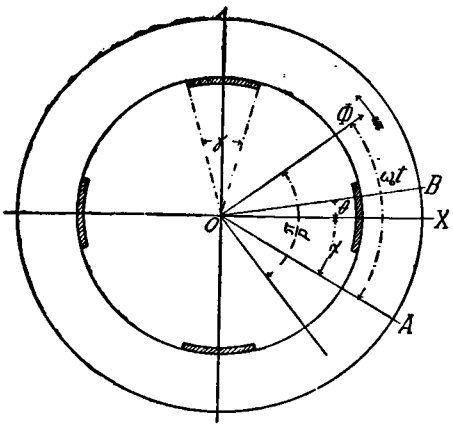
$$\nu = \nu_1\sqrt{1 + \left(\frac{\nu_1\nu_2 - 1}{\nu_1\nu_2}\right)^2 tg^2\psi} \quad . \; . \; . \; (42)$$

Равнодѣйствующій потокъ $\nu\Phi$, какъ являющійся результатомъ дѣйствія всѣхъ токовъ арматуры и индуктора, создастъ при пересѣченіи обмотки индуктора электродвижущую силу, которая явится, какъ результатъ дѣйствія самоиндукціи и взаимной индукціи обмотокъ индуктора и арматуры. Но вмѣсто того, чтобы опредѣлять электродвижущую силу, создаваемую потокомъ $\nu\Phi$, мы опредѣлимъ двѣ составляющія электродвижущія силы, создаваемыя потоками $\nu_1\Phi_1$ и $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$, направленія и величины которыхъ

*) Коэффиціентъ Гопкинсона $\nu_2$ въ № 8 по ошибкѣ озобначенъ черезъ $v_2$.

намъ уже извѣстны. Такъ какъ первый изъ этихъ составляющихъ потоковъ производится токами индуктора, то электродвижущая сила, создаваемая имъ, явится, какъ результатъ дѣйствія самоиндукціи и взаимной индукціи токовъ въ обмоткахъ индуктора; электродвижущая же сила, создаваемая вторымъ составляющимъ потокомъ, явится, какъ результатъ дѣйствія взаимной индукціи токовъ арматуры.

§ 9. *Общій случай дѣйствія магнитнаго потока на одну фазу обмотки индуктора.* Пусть какой либо магнитный потокъ $\Phi$ вращается со скоростью $\omega_0$ по направленію, показанному стрѣлкой на фиг. 2. Такъ какъ явленія, производи-




Фиг. 2.

мыя этимъ вращающимся потокомъ, будутъ совершенно одинаковы въ обмоткахъ всѣхъ фазъ, то для нашихъ цѣлей будетъ совершенно достаточно разсмотрѣть явленія, происходящія въ обмоткѣ одной какой либо фазы; для упрощенія же выводовъ мы выберемъ ту фазу, для которой углы $\beta$ и $\beta'$ равны нулю, и средина обмотки которой лежитъ, слѣдовательно, на оси OX (см. § 2). Допустимъ затѣмъ, что въ начальный моментъ времени, при $t = 0$, направленіе потока $\Phi$, т. е. направленіе наибольшаго напряженія создаваемаго имъ поля, опредѣляется линіей OA, образующей отрицательный уголъ $\chi$ съ осью OX. По истеченіи времени $t$ магнитный потокъ $\Phi$ повернется на уголъ $\omega_0 t$, а такъ какъ точка нулевого напряженія, соотвѣтствующая началу періода синусоиды, будетъ отставать отъ направленія наибольшаго напряженія на уголъ $\frac{\pi}{p}$, то напряженіе поля по направленію OB, проходящему черезъ одну изъ проволокъ обмотки, отстоящую отъ средины ея на уголъ $\theta$, по истеченіи времени $t$ выразится такимъ уравненіемъ:

$$h = H Sn \frac{p}{2}\left\{\frac{\pi}{p} - [\omega_0 t - (\chi + \theta)]\right\}.$$

Но такъ какъ $H = \frac{p}{2 l_0 D}\Phi$, то

$$h = \frac{p}{2 l_0 D}\Phi Sn \frac{p}{2}\left\{\frac{\pi}{p} - [\omega_0 t - (\chi + \theta)]\right\}.$$

Въ теченіе безконечно малаго промежутка времени $dt$ магнитный потокъ повернется на уголъ $\omega_0 dt$, а разсматриваемая проволока обмотки пересѣчется потокомъ

$$d\Phi = h \frac{D l_0}{2}\omega_0 dt$$

и, слѣдовательно, въ ней появится электродвижущая сила

$$\varepsilon = -h \frac{D l_0}{2}\omega_0$$

Подставляя въ послѣднее выраженіе вмѣсто $h$ равную ему величину и измѣняя знаки на основаніи равенства

$$-Sna = Sn(-a),$$

получимъ такое выраженіе электродвижущей силы:

$$\varepsilon = \frac{p}{4}\Phi\omega_0 Sn\left\{\frac{p\omega_0}{2}t - \frac{p}{2}(\chi + \theta) - \frac{\pi}{2}\right\}.$$

Но такъ какъ, на основаніи формулы 19, $\omega_0 = \frac{2k}{p}$, то $\frac{p\omega_0}{2} = k$; а потому

$$\varepsilon = \frac{k}{2}\Phi Sn\left\{kt - \frac{p}{2}(\chi + \theta) - \frac{\pi}{2}\right\}.$$

Имѣя выраженіе электродвижущей силы, дѣйствующей на данную проволоку обмотки, мы можемъ найти, подобно тому, какъ это было сдѣлано въ § 4, выраженіе средней электродвижущей силы, дѣйствующей на одну проволоку. Величину этой средней электродвижущей силы мы можемъ выразить такимъ образомъ:

$$\frac{e}{m_1} = \frac{1}{\gamma}\int_{\theta=-\gamma/2}^{\theta=+\gamma/2} \varepsilon d\theta,$$

гдѣ $\gamma$ есть уголъ, обнимающій часть обмотки одной фазы, соотвѣтствующую одному полюсу.

Подставивъ сюда вмѣсто $\varepsilon$ равную ему величину, получимъ

$$\frac{e}{m_1} = \frac{k}{2\gamma}\Phi\int_{\theta=-\gamma/2}^{\theta=+\gamma/2} Sn\left\{\left(kt - \frac{p\chi}{2} - \frac{\pi}{2}\right) - \frac{p\theta}{2}\right\}d\theta.$$

Обозначивъ величину $\left(kt - \frac{p\chi}{2} - \frac{\pi}{2}\right)$ черезъ $a$, можемъ написать слѣдующее рѣшеніе интеграла, входящаго въ это выраженіе:

$$\int_{\theta=-\gamma/2}^{\theta=+\gamma/2} Sn\left(a - \frac{p\theta}{2}\right)d\theta = -\frac{2}{p}\int_{\theta=-\gamma/2}^{\theta=+\lambda/2} Sn\left(a - \frac{p\theta}{2}\right)d\left(a - \frac{p\theta}{2}\right) =$$

$$= \frac{2}{p}\left[Cos\left(a - \frac{p\theta}{2}\right)\right]_{\theta=-\gamma/2}^{\theta=+\gamma/2} = \frac{2}{p}\left[Cos\left(a - \frac{p\gamma}{4}\right) - Cos\left(a + \frac{p\gamma}{4}\right)\right] =$$

$$= \frac{4}{p} Sna\, Sn\frac{p\gamma}{4}$$

Сдѣлавъ подстановку полученной величины въ выраженіе для $\frac{e}{m_1}$ и замѣнивъ $a$ равной ему величиной, получимъ слѣдующее выраженіе средней электродвижущей силы:

$$\frac{e}{m_1} = \zeta_1 \frac{k}{2} \Phi \, Sn\left(kt - \frac{p\chi}{2} - \frac{\pi}{2}\right) \quad . \; . (43)$$

гдѣ

$$\zeta_1 = \frac{Sn\frac{p\gamma}{4}}{\frac{p\gamma}{4}}.$$

Уравненіемъ 43 мы и воспользуемся для опредѣленія электродвижущихъ силъ, создаваемыхъ потоками $\nu_1\Phi_1$ и $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$.

§ 10. *Электродвижущая сила, производимая потокомъ* $\nu_1\Phi_1$. Подставивъ въ уравненіе 43 вмѣсто $\Phi$ величину потока $\nu_1\Phi_1$ и вмѣсто $\chi$ величину угла, ему соотвѣтствующаго, получимъ выраженіе электродвижущей силы, производимой этимъ потокомъ, и величину угла, на который періодъ этой электродвижущей силы будетъ разниться отъ періода силы тока. Величина потока $\Phi_1$, зависящая отъ силы токовъ всѣхъ фазъ обмотки индуктора, опредѣляется формулой 18, уголъ же $\chi$ для этого потока можетъ быть опредѣленъ на основаніи уравненія 17.

Дѣйствительно, уравненіе 17 даетъ величину напряженія поля, образуемаго потокомъ $\Phi_1$, въ данный моментъ времени и по данному направленію, именно подъ нѣкоторымъ угломъ $\alpha$ къ постоянной оси $OX$. То направленіе, по которому дѣйствуетъ наибольшее напряженіе этого поля, опредѣляетъ въ то же время и направленіе потока $\Phi_1$, и для того случая, когда поле вращается въ положительную сторону, оно получается при условіи

$$kt - \frac{p\alpha - \pi}{2} = \frac{\pi}{2}.$$

Это же условіе при $t = 0$ даетъ величину угла $\alpha$, также равную нулю. Отсюда слѣдуетъ, что потокъ $\nu_1\Phi_1$ при $t = 0$ будетъ направленъ по оси $OX$, и что уголъ $\chi$ для этого потока будетъ равенъ нулю.

Итакъ, допустивъ, что въ уравненіи 43

$$\chi = 0$$

и

$$\Phi = \nu_1\Phi_1 = \nu_1\zeta_1 \frac{2\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}}$$

получимъ слѣдующее выраженіе электродвижущей силы, индуктируемой потокомъ $\nu_1\Phi_1$:

$$\frac{e}{m_1} = \nu_1\zeta_1^2 k \frac{\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} \, Sn\left(kt - \frac{\pi}{2}\right)$$

или

$$\frac{e_i}{m_1} = \frac{E_i}{m_1} Sn\left(kt - \frac{\pi}{2}\right) \quad . \; . \; . \; . (44)$$

гдѣ

$$\frac{E_i}{m_1} = \nu_1\zeta_1^2 k \frac{\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} \quad . \; . \; . \; . \; . (45)$$

Сравнивъ уравненіе 44 съ уравненіемъ плотности тока въ обмоткѣ разсматриваемой фазы, которое на основаніи уравненія 7 выразится такимъ образомъ:

$$\delta = \Delta_1 \, Sn \, kt,$$

увидимъ, что періодъ электродвижущей силы $e$ отстаетъ отъ періода силы тока на уголъ $\frac{\pi}{2}$.

§ 11. *Электродвижущая сила, производимая потокомъ* $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$. Обратимся теперь ко второму составляющему потоку $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$. Направленіе этого потока совпадаетъ съ направленіемъ потока $\Phi_2$, а этотъ послѣдній потокъ отстаетъ отъ потока $\Phi_1$ вообще на уголъ $\frac{2}{p}\left(\frac{\pi}{2} + \psi + \varphi_2\right)$ (см. § 5), слѣдовательно этому же углу будетъ равенъ и уголъ $\chi$ въ уравненіи 43. Величина же потока $\frac{1}{\nu_2}\Phi_2$ опредѣлится на основаніи формулъ 33 и 18.

Такимъ образомъ для второго составляющаго потока въ уравненіи 43 мы должны будемъ допустить, что

$$\chi = \frac{2}{p}\left(\frac{\pi}{2} + \psi + \varphi_2\right)$$

и

$$\Phi = \frac{1}{\nu_2}\Phi_2 = \frac{1}{\nu_2}\Phi_1 \frac{Sn\psi}{Cos\varphi_2} = \frac{1}{\nu_2}\zeta_1 \frac{2\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} \cdot \frac{Sn\psi}{Cos\varphi_2}.$$

Подставивъ эти величины въ уравненіе 43, получимъ слѣдующее уравненіе:

$$\frac{e_a}{m_1} = \frac{1}{\nu_2}\zeta_1^2 k \frac{\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} \cdot \frac{Sn\psi}{Cos\varphi_2} Sn\{kt - (\pi + \psi + \varphi_2)\}$$

или

$$\frac{e_a}{m_1} = \frac{E_a}{m_1} Sn\{kt - (\pi + \psi + \varphi_2)\} \quad . \; . (46)$$

гдѣ

$$\frac{E_a}{m_1} = \frac{1}{\nu_2}\zeta_1^2 k \frac{\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} \cdot \frac{Sn\psi}{Cos\varphi_2} \quad . \; . \; . (47)$$

Уравненіе 46 показываетъ, что періодъ электродвижущей силы $e_a$ отстаетъ отъ періода силы тока на уголъ $(\pi + \psi + \varphi_2)$,

Въ частномъ случаѣ, когда $\varphi_2 = 0$, уравненія 46 и 47 получатъ видъ такой:

$$\frac{e_a}{m_1} = \frac{E_a}{m_1} Sn\{kt - (\pi + \psi)\} \quad . \; . \; . (46')$$

и

$$\frac{E_a}{m_1} = \frac{1}{\nu_2}\zeta_1^2 k \frac{\pi Q_1\Delta_1}{p\mathfrak{R}} Sn\psi \quad . \; . \; . \; . (47')$$

Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ періодъ электродвижущей силы $e_a$ будетъ отставать отъ періода силы тока на уголъ $(\pi + \psi)$.

§ 12. *Разность потенціаловъ, приложенная къ обмоткѣ индуктора.* Обозначимъ теперь буквой $v$ перемѣнную разность потенціаловъ у концовъ обмотки одной фазы и буквой $V$ наибольшую величину этой разности потенціаловъ. Періодъ ея будетъ опережать періодъ силы тока на нѣкоторый уголъ, который мы обозначимъ черезъ $\varphi_1$, а потому мы можемъ написать такое выраженіе разности потенціаловъ, приходящейся на одну проволоку обмотки:

$$\frac{v}{m_1} = \frac{V}{m} Sn(kt + \varphi_1) \quad . \; . \; . \; . \; (48)$$

Такимъ образомъ мы имѣемъ выраженія трехъ электродвижущихъ силъ, дѣйствующихъ на одну проволоку обмотки индуктора, именно $\frac{v}{m_1}$, $\frac{e_i}{m_1}$ и $\frac{e_a}{m_1}$, и знаемъ, что кромѣ этихъ электродвижущихъ силъ никакія иныя на обмотку дѣйствовать не будутъ, а потому можемъ написать, что сумма этихъ трехъ электродвижущихъ силъ во всякій моментъ времени должна равняться произведенію изъ сопротивленія одной проволоки обмотки на силу тока, проходящаго по ней.

Но сопротивленіе всей обмотки одной фазы, согласно § 3, выразится такъ:

$$r_1 = m_1 \rho \frac{l_1}{\sigma_1},$$

а потому сопротивленіе одной проволоки этой обмотки будетъ

$$\frac{r_1}{m_1} = \rho \frac{l_1}{\sigma_1}$$

Сила же тока въ обмоткѣ разсматриваемой фазы, для которой $\beta = 0$, будетъ такая

$$i = \sigma_1 \Delta_1 Sn\, kt.$$

Слѣдовательно, произведеніе изъ сопротивленія одной проволоки на силу тока будетъ

$$\frac{r_1 i}{m_1} = \rho l_1 \Delta_1 Sn kt \quad . \; . \; . \; . \; . \; (49)$$

Эту величину мы можемъ разсматривать также, какъ нѣкоторую электродвижущую силу, являющуюся вслѣдствіе сопротивленія проволоки. Наибольшая величина ея будетъ

$$\frac{r_1 I_1}{m_1} = \rho l_1 \Delta_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (50)$$

Итакъ, сложивъ вторыя части уравненій 48, 44 и 46 и приравнявъ сумму ихъ второй части уравненія 49, получимъ

$$\frac{V}{m_1} Sn(kt + \varphi_1) + \frac{E_i}{m_1} Sn\left(kt - \frac{\pi}{2}\right) +$$
$$+ \frac{E_a}{m_1} Sn\,(kt - \pi - \psi - \varphi_2) = \rho l_1 \Delta_1 Sn\, kt.$$

Но такъ какъ $Sn\, kt = -Sn\,(kt - \pi)$, то послѣднее уравненіе можно представить въ такомъ видѣ:

$$\frac{V}{m_1} Sn(kt + \varphi_1) + \frac{E_i}{m_1} Sn\left(kt - \frac{\pi}{2}\right) +$$
$$+ \frac{E_a}{m_1} Sn(kt - \pi - \psi - \varphi_1) + \rho l_1 \Delta_1 Sn(kt - \pi) = 0. \; (51)$$

Это уравненіе показываетъ, что сумма проекцій на какое угодно направленіе отрѣзковъ, представляющихъ наибольшія величины электродвижущихъ силъ, должна постоянно равняться нулю, или, другими словами, отрѣзки эти должны составлять замкнутый многоугольникъ; а отсюда слѣдуетъ, что $\frac{V}{m_1}$ должно быть равно и по знаку противуположно равнодѣйствующей электродвижущихъ силъ: $\frac{E_i}{m_1}$, $\frac{E_a}{m_1}$ и $\rho l_1 \Delta_1$.

Изъ уравненія 51 не трудно опредѣлить, какъ величину разности потенціаловъ, или напряженія, $\frac{V}{m_1}$, приходящагося на одну проволоку обмотки, такъ и уголъ $\varphi_1$. Дѣйствительно, допустивъ въ этомъ уравненіи $t = 0$, получимъ

$$\frac{V}{m_1} Sn\, \varphi_1 = \frac{E_i}{m_1} - \frac{E_a}{m_1} Sn(\psi + \varphi_2),$$

а допустивъ $kt = \frac{\pi}{2}$, получимъ

$$\frac{V}{m_1} Cos\, \varphi_1 = \frac{E_a}{m} Cos\,(\psi + \varphi_2) + \rho l_1 \Delta_1.$$

Изъ этихъ же двухъ уравненій получаемъ:

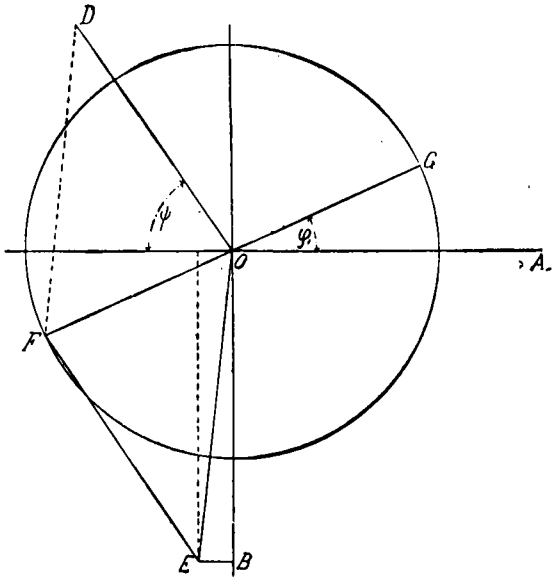
$$\frac{V}{m_1} = \sqrt{\left(\frac{E_i}{m_1} - \frac{E_a}{m_1} Sn(\psi + \varphi_2)\right)^2 + \left(\frac{E_a}{m_1} Cos(\psi + \varphi_2) + \rho l_1 \Delta_1\right)^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (52)$$

и

$$tg\, \varphi_1 = \frac{\frac{E_i}{m_1} - \frac{E_a}{m_1} Sn(\psi + \varphi_2)}{\frac{E_a}{m_1} Cos(\psi + \varphi_2) + \rho l_1 \Delta_1} \quad . \; . \; . \; (53)$$

§ 13. *Графическое представленіе сложенія электродвижущихъ силъ, дѣйствующихъ на обмотку индуктора.* Уравненіе 51 можно представить графически въ видѣ діаграммы, показывающей геометрическое сложеніе электродвижущихъ силъ. Дѣйствительно, пусть та ось, на которую проектируются электродвижущія силы, будетъ ось ординатъ (фиг. 3) и пусть отрѣзокъ $OA$, расположенный по оси абсциссъ, представляетъ наибольшую величину плотности тока $\Delta_1$. Если этотъ отрѣзокъ вращать около точки $O$ по направленію, обратному движенію часовой стрѣлки, со скоростью $k$, то проекціи этого отрѣзка на ось ординатъ дадутъ перемѣнныя величины плотности тока $\delta = \Delta_1 Sn\, kt$. Если далѣе по оси ординатъ внизъ отъ точки $O$ отложить отрѣзокъ $OB$, изо-

бражающій въ извѣстномъ масштабѣ величину $\frac{E_i}{m_1}$, и вращать этотъ отрѣзокъ вмѣстѣ съ отрѣзкомъ $OA$, то проекціи этого отрѣзка на ось




Фиг. 3.

ординатъ дадутъ величины электродвижущей силы $\frac{e_i}{m_1}$, фаза которой будетъ отставать отъ фазы плотности тока $\delta$ на уголъ $\frac{\pi}{2}$. Точно такъ же и въ томъ же масштабѣ электродвижущихъ силъ можемъ отложить отрѣзокъ $OC$, изображающій величину $\rho l_1 \Delta_1$, и отрѣзокъ $OD$, изображающій величину $\frac{E_a}{m_1}$; проекціи послѣднихъ двухъ отрѣзковъ на ось ординатъ при вращеніи всей діаграммы дадутъ, очевидно, перемѣнныя величины паденія напряженія отъ сопротивленія обмотки и электродвижущей силы $\frac{e_a}{m_1}$.

Построивъ изъ отрѣзковъ $OB$, $OC$ и $OD$ многоугольникъ $OBEFO$, найдемъ, что замыкающая сторона этого многоугольника $OF$ выразитъ собою равнодѣйствующую электродвижущихъ силъ $\frac{E_i}{m_1}$, $\frac{E_a}{m_1}$ и $\rho l_1 \Delta_1$, а приложенная извнѣ разность потенціаловъ $\frac{V}{m_1}$ выразится отрѣзкомъ $OG$, равнымъ и по знаку противуположнымъ равнодѣйствующей $OF$.

Если двигатель работаетъ при постоянномъ напряженіи въ сѣти проводовъ, то и $\frac{V}{m_1}$ будетъ также постоянно; слѣдовательно, при этомъ условіи отрѣзокъ $OG$ не измѣнится по величинѣ, какъ бы ни измѣнялись условія работы двигателя; но онъ можетъ измѣнять свое направленіе. Очевидно, что то же самое должно сказать и о равнодѣйствующей $OF$.

§ 14. *Мощность, получаемая индукторомъ изъ внѣшней сѣти проводовъ.* Если $V$ есть наибольшая величина разности потенціаловъ между концами обмотки одной фазы, то, какъ извѣстно, дѣйствующая разность потенціаловъ будетъ равна $\frac{V}{\sqrt{2}}$, точно также, если $I$ есть наибольшая сила тока въ обмоткѣ, то дѣйствующая сила тока будетъ равна $\frac{I}{\sqrt{2}}$. Произведеніе этихъ двухъ величинъ, умноженное на $Cos\varphi_1$, т. е. $\frac{VI}{2} Cos\varphi_1$, выразитъ среднюю мощность, получаемую одной фазой обмотки индуктора изъ внѣшней сѣти проводовъ въ теченіе времени, соотвѣтствующаго одному періоду измѣненія силы тока; средняя же мощность, получаемая всѣми фазами обмотки индуктора, будетъ, слѣдовательно, равна $z_1 \frac{VI}{2} Cos\varphi_1$. Эта величина, очевидно, представляетъ собою ту мощность, которая получается двигателемъ изъ внѣшней сѣти проводовъ. Мы обозначимъ ее буквой $W$. Итакъ, слѣдовательно,

$$W = z_1 \frac{VI}{2} Cos\varphi_1.$$

Но $I = \Delta_1 \sigma_1 = \Delta_1 \frac{Q_1}{m_1 z_1}$, а потому, подставивъ послѣднюю величину вмѣсто $I$ въ выраженіе для $W$, получимъ

$$W = \frac{Q}{2} \cdot \frac{V}{m_1} \Delta_1 Cos\varphi_1 \quad . \; . \; . \; . \; (54)$$

Не трудно доказать, что это выраженіе представляетъ не только среднюю, но и мгновенную мощность, получаемую двигателемъ.

Дѣйствительно, мгновенная сила тока въ одной какой либо фазѣ обмотки индуктора будетъ

$$i = I\, Sn(kt - \beta),$$

а мгновенная разность потенціаловъ между концами обмотки той же фазы будетъ

$$v = V\, Sn(kt - \beta + \varphi_1).$$

Слѣдовательно, мгновенная мощность, получаемая обмоткой одной фазы, будетъ

$$vi = VI\, Sn(kt - \beta + \varphi_1)\, Sn(kt - \beta).$$

Произведеніе синусовъ въ этомъ выраженіи можно преобразовать на основаніи формулы

$$2\, Sn\, a\, Sn\, b = Cos(a - b) - Cos(a + b)$$

слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} 2\, Sn(kt - \beta + \varphi_1)\, Sn(kt - \beta) &= \\ = Cos\varphi_1 - Cos(2kt - 2\beta + \varphi_1) &= \\ = Cos\varphi_1 - Cos(kt + \varphi_1)\, Cos\, 2\beta &- \\ - Sn(2kt + \varphi_1)\, Sn\, 2\beta, & \end{aligned}$$

А потому

$$vi = \frac{VI}{2}[Cos\varphi_1 - Cos(2kt + \varphi_1)\, Cos 2\beta - \\ - Sn(2kt + \varphi_1)\, Sn 2\beta].$$

Полная же мгновенная мощность равна суммѣ величинъ $vi$, взятыхъ для всѣхъ фазъ обмотки индуктора, и такъ какъ при этомъ будетъ $\Sigma\, Cos\, 2\beta = 0$ и $\Sigma n\, 2\beta = 0$, то можемъ написать, что

$$W = z_1 \frac{VI}{2} Cos\varphi_1.$$

Подставивъ же сюда величину $I$, получимъ формулу 54. Отсюда слѣдуетъ, что мгновенная мощность, получаемая изъ внѣшней сѣти проводовъ обмоткою индуктора, а слѣдовательно и всѣмъ двигателемъ, есть величина постоянная, хотя мощности, получаемыя обмотками отдѣльныхъ фазъ, суть величины перемѣнныя.

*(Продолженіе слѣдуетъ).*

---

## Усовершенствованія системы однофазнаго перемѣннаго тока и ихъ практическое значеніе.

*Статья Б. А. Петерса.*

Подобно тому, какъ система трехфазнаго тока, совершенная во всѣхъ другихъ отношеніяхъ, представляетъ нѣкоторыя неудобства въ отношеніи освѣщенія *), система однофазнаго перемѣннаго тока страдаетъ гораздо болѣе существеннымъ недостаткомъ, препятствующимъ ея распространенію всюду тамъ, гдѣ распредѣленіе силы составляетъ одну изъ главныхъ задачъ электрической установки.

Недостатокъ однофазной системы заключается, какъ извѣстно, въ томъ, что асинхроническіе электродвигатели перемѣннаго тока не приходятъ сами собою во вращеніе, легче останавливаются при перегрузкѣ и обладаютъ меньшимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія и меньшей работоспособностью на единицу вѣса сравнительно съ многофазными асинхроническими электродвигателями, вызывая въ то же время большее различіе въ фазахъ между напряженіемъ и токомъ въ цѣпи.

Опираясь однако на бо́льшую простоту и удобство перемѣннаго тока въ отношеніи освѣщенія, поборники системы однофазнаго тока стремятся устранить указанный недостатокъ и сдѣлать ее хоть приблизительно въ той же мѣрѣ удобной для распредѣленія силы, какъ и система многофазнаго тока.

Въ случаѣ полнаго успѣха этихъ стремленій, за трехфазной системой останутся лишь преимущества въ сбереженіи на мѣди проводовъ и въ большей работоспособности на единицу вѣса,— преимущества, которыя въ большомъ числѣ случаевъ будутъ компенсированы удобствомъ однофазнаго перемѣннаго тока въ отношеніи освѣщенія. Вопросъ объ усовершенствованіяхъ системы перемѣннаго тока представляетъ поэтому большой интересъ и стоитъ того, чтобы остановиться на немъ подольше.

Стремленія выработать типъ электродвигателя перемѣннаго тока, свободный отъ недостатковъ синхроническихъ электродвигателей, начались еще задолго до появленія на свѣтъ системы многофазнаго тока и до практическаго примѣненія составляющаго главную особенность этой системы принципа индукціонныхъ электродвигателей.

Однимъ изъ первыхъ электродвигателей перемѣннаго тока, представляющимъ собою шагъ впередъ сравнительно съ синхроническими электродвигателями, былъ двигатель Циперновскаго.

Циперновскій сдѣлалъ синхроническій двигатель самовозбуждающимся, снабдивъ лежащую въ отвѣтвленіи обмотку вращающихся электромагнитовъ коллекторомъ, выпрямляющимъ перемѣнный токъ для возбужденія. Однако коллекторъ выполняетъ свое назначеніе лишь тогда, когда двигатель приведенъ къ синхронизму. Въ моментъ пусканія въ ходъ обмотка возбужденія питается перемѣннымъ токомъ и двигатель долженъ быть приведенъ въ медленное вращеніе, послѣ чего самъ собой быстро достигаетъ синхронизма. Такого рода электродвигатели были введены въ употребленіе фирмой Ганцъ и К° въ въ Будапештѣ. Двигатели малой мощности до 2 Н.Р. не снабжались никакими приспособленіями для пусканія въ ходъ и для приведенія во вращеніе достаточно сообщить двигателю медленное вращеніе при помощи рукоятки. Для пусканія въ ходъ двигателей большей мощности употреблялись довольно сложныя приспособленія, имѣвшія цѣлью увеличить электровозбудительную силу, дѣйствующую въ моментъ пусканія въ ходъ въ обмоткѣ возбужденія, и ослабить силу тока въ арматурѣ.

Двигатели эти могутъ быть значительно перегружены, но при превышеніи нагрузкой извѣстнаго максимума легко останавливаются.

Другой способъ улучшенія качествъ синхроническихъ электродвигателей перемѣннаго тока, предложенный Лебланомъ, заключается въ слѣдующемъ. Неподвижная или вращающаяся система электромагнитовъ снабжается кромѣ обмотки возбужденія, питаемой постояннымъ токомъ, еще коротко замкнутой обмоткой. При вращеніи электродвигателя въ этой обмоткѣ индуктируются токи, взаимодѣйствіе которыхъ съ токомъ арматуры порождаетъ моментъ вращенія, облегчающій двигателю достиженіе синхронизма и противодѣйствующій выходу изъ синхронизма и остановкѣ его при случайныхъ мгновенныхъ перегрузкахъ. Способъ этотъ интересенъ въ томъ отношеніи, что представляетъ собою пользованіе тѣмъ же принципомъ, который лежитъ въ основаніи асинхроническихъ индукціонныхъ электродвигателей перемѣннаго тока.

Другой типъ электродвигателя перемѣннаго тока былъ выработанъ изъ двигателя постоян-

---

*) См. «Электричество» 1897 г. № 23—24.

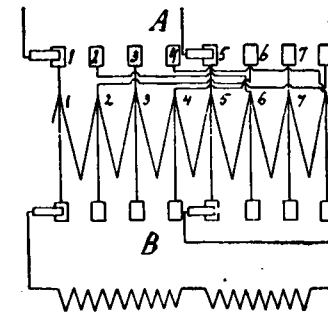
наго тока съ послѣдовательною обмоткою возбужденія.

Надъ электродвигателями такого рода работали довольно усердно до появленія индукціонныхъ электродвигателей.

Главные недостатки ихъ слѣдующіе: потери вслѣдствіе токовъ Фуко и гистерезиса въ желѣзѣ электромагнитовъ, сильное искрообразованіе и порча коллектора, уменьшеніе работоспособности электродвигателя и коэффиціента полезнаго дѣйствія его сравнительно съ такимъ же двигателемъ постояннаго тока.

Для уменьшенія потерь вслѣдствіе токовъ Фуко предложено было (Рехневскимъ), составлять желѣзо магнитовъ изъ тонкихъ изолированныхъ одинъ отъ другого листовъ; затѣмъ, Мордей предложилъ снабдить электродвигатель, кромѣ обыкновеннаго коллектора, еще двухсегментнымъ коммутаторомъ, сидящимъ на оси якоря. По мѣрѣ увеличенія числа оборотовъ якоря, коммутаторъ этотъ уменьшаетъ число полныхъ колебаній тока между положительной и отрицательною амплитудой, способствуя такимъ образомъ уменьшенію потерь черезъ гистерезисъ и токи Фуко. Въ виду указанныхъ недостатковъ электродвигатели перемѣннаго тока съ послѣдовательной обмоткой возбужденія нашли примѣненіе лишь въ немногихъ случаяхъ и для небольшой мощности, напр. для электрическихъ вентиляторовъ и т. п.

По качествамъ своимъ такіе электродвигатели совершенно подобны электродвигателямъ постояннаго тока аналогичнаго типа. Испытанія, произведенныя надъ однимъ такимъ двигателемъ въ 3 Н.Р. фирмы Ганцъ и К° *), показали, что онъ приходитъ во вращеніе при полной нагрузкѣ и что число оборотовъ его уменьшается съ увеличеніемъ нагрузки по тому же закону, какъ и для двигателя постояннаго тока. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія двигателя оказался = 71%. Тотъ же двигатель, питаемый постояннымъ токомъ, развивалъ отъ 4,5 до 5 Н.Р. вмѣсто 3-хъ. Электродвигатели перемѣннаго тока съ коллекторомъ и *шунтовой* обмоткой возбужденія представляютъ еще болѣе затрудненій вслѣдствіе того обстоятельства, что шунтовая обмотка возбужденія обладаетъ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи. Для того, чтобы уменьшить по возможности вліяніе самоиндукціи обѣихъ обмотокъ двигателя и чтобы ограничить потери вслѣдствіе токовъ Фуко и гистеризиса, Паттенъ построилъ электродвигатель съ двумя коллекторами **).—Въ обмотку якоря перемѣнный токъ попадаетъ черезъ посредство двухъ щетокъ и коллектора А, сегменты котораго 1, 2, 3... n соединены не такъ какъ въ обыкновенномъ коллекторѣ съ точками якорной обмотки, обозначенными одинаковыми цифрами, а такъ, какъ показано на фиг. ***) 4, т. е. сегментъ 1 съ точкой 1; сегментъ 2-й съ точкой 6-й діаметрально противоположной точкѣ 2, сегментъ 3-й съ точкой 3-ей, сегментъ 4-ый




Фиг. 4.

съ точкой 8-ой и т. д. Второй коллекторъ В соединенъ съ якорной обмоткой совершенно такъ, какъ въ обыкновенномъ электродвигателѣ постояннаго тока, и служитъ для питанія посредствомъ двухъ щетокъ шунтовой обмотки электромагнитовъ.

Въ моментъ пусканія электродвигателя въ ходъ обмотка якоря и обмотка возбужденія протекаются перемѣннымъ токомъ полнаго числа періодовъ; по мѣрѣ того, какъ число оборотовъ увеличивается, число полныхъ колебаній перемѣннаго тока между положительной и отрицательной амплитудой уменьшается, вслѣдствіе этого уменьшается и вліяніе самоиндукціи обѣихъ обмотокъ; при числѣ оборотовъ якоря, равномъ числу періодовъ перемѣннаго тока, дѣленному на число паръ сегментовъ коллектора, перемѣнный токъ превращается коллекторомъ А въ пульсирующій постоянный; вслѣдствіе этого такой скорости вращенія двигателя соотвѣтствуетъ наибольшій моментъ вращенія и двигатель работаетъ устойчиво при этомъ числѣ оборотовъ. Для пусканія въ ходъ двигателя не требуется никакихъ приспособленій; онъ приходитъ безъ нагрузки самъ собою во вращеніе и быстро достигаетъ указаннаго числа оборотовъ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія его и работоспособность на единицу вѣса выше, чѣмъ въ двигателѣ перемѣннаго тока съ однимъ коллекторомъ.

Однако, такимъ устройствомъ вліяніе самоиндукціи и потери въ желѣзѣ магнитовъ не устраняются, а лишь ослабляются; необходимость же употребленія двухъ коллекторовъ и подраздѣленія желѣза магнитовъ дѣлаетъ двигатель Паттена мало пригоднымъ для практики.

Шунтовый электродвигатель перемѣннаго тока—спеціальнаго устройства—былъ предложенъ также фирмой Геліосъ, старавшейся устранить недостатки двигателей этого типа посредствомъ особенностей якорной обмотки. За отсутствіемъ въ литературѣ данныхъ, характеризирующихъ качества этого электродвигателя въ работѣ, трудно судить о раціональности устройства фирмы Геліосъ.

*) См. Z. d. V. d. Ing. 1897, № 29.

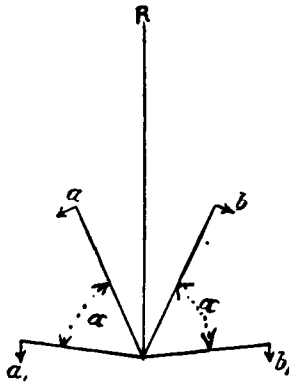
**) См. E. T. Z. 1890, № 5.

***) На фиг. 4 взята для простоты кольцевая обмотка якоря и число сегментовъ коллектора принято равнымъ 8-и.

Въ 1891 г. былъ построенъ К. Броуномъ индукціонный электродвигатель однофазнаго перемѣннаго тока. Простота устройства этого электродвигателя сразу выдвинула его впередъ среди двигателей перемѣннаго тока другихъ типовъ и направила вниманіе изобрѣтателей на усовершенствованіе его динамическихъ качествъ и прежде всего на устраноніе главнаго его недостатка—неспособности приходить во вращеніе не только при нагрузкѣ, но и порожнемъ.

Рѣщающихъ эту задачу приспособленій для пусканія въ ходъ предложенъ цѣлый рядъ. Всѣ они основаны на слѣдующемъ.

Перемѣнный токъ, пускаемый въ первичную—обыкновенно неподвижную—обмотку электродвигателя, порождаетъ періодически измѣняющійся магнитный потокъ R не измѣннаго направленія (см. фиг. 5), который можетъ быть разложенъ на два вращающихся въ противоположныхъ направленіяхъ съ одинаковой скоростью постоянныхъ магнитныхъ потока $a$ и $b$. — Въ коротко замкнутыхъ фазахъ вторичной подвижной обмотки каждый изъ этихъ потоковъ $a$ и $b$ порождаетъ систему токовъ, дающихъ начало вторичнымъ магнитнымъ потокомъ $a_1$ и $b_1$, вращающимся съ одинаковой скоростью и въ одинаковыхъ направленіяхъ съ потоками $a$ и $b$ и составляющимъ съ ними одинаковые углы $\alpha$. Взаимодѣйствіе между первичными и вторичными вращающимися магнитными потоками и вызываетъ моментъ вращенія двигателя. Не трудно видѣть, что въ счетъ идетъ лишь взаимодѣйствіе между магнитными потоками $a$ и $a_1$ и $b$ и $b_1$; относительное положеніе потоковъ $a$ и $b_1$ и $b$ и $a_1$ измѣняется періодически, вслѣдствіе чего среднее значеніе момента вращенія, порождаемаго ихъ взаимодѣйствіемъ въ теченіе достаточно длиннаго промежутка времени, равно нулю.

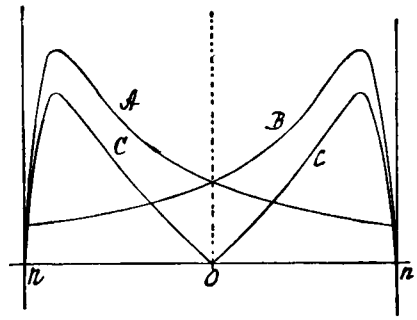


Фиг. 5.

При пусканіи электродвигателя въ ходъ, когда вторичная обмотка неподвижна, моменты вращенія, порождаемые взаимодѣйствіемъ магнитныхъ потоковъ $a$ и $a_1$ и $b$ и $b_1$, равны и противоположны; поэтому двигатель не можетъ прійти во вращеніе самъ собой.

Разъ вторичная обмотка (якорь) тѣмъ или инымъ способомъ приведена во вращеніе, мо-моментъ вращенія, порождаемый магнитными потоками въ сторону которыхъ вращается якорь, пріобрѣтаетъ перевѣсъ надъ противоположнымъ моментомъ вращенія и перевѣсъ этотъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше оборотовъ дѣлаетъ якорь.

Графически можетъ быть представлена зависимость между значеніями этихъ двухъ противоположныхъ моментовъ вращенія и числомъ оборотовъ якоря двумя кривыми A и B фиг. 6.



Фиг. 6.

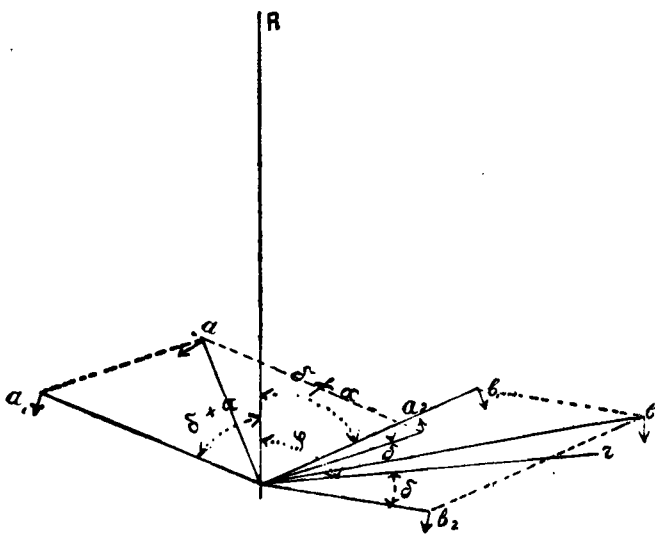
Кривая C, ординаты которой равны разности ординатъ кривыхъ A и B, представляетъ собою кривую дѣйствительныхъ моментовъ вращенія двигателя въ функціи числа оборотовъ якоря.

Изъ сказаннаго ясно, что для того, чтобы заставить однофазный индукціонный двигатель прійти во вращеніе, необходимо уже въ моментъ пусканія въ ходъ дать преобладаніе одному изъ двухъ противоположныхъ моментовъ вращенія A и B надъ другимъ.

Это можетъ быть достигнуто различнымъ путемъ.

Броунъ предложилъ пользоваться для этой цѣли вспомогательной первичной обмоткой, состоящей изъ большаго или меньшаго числа витковъ проволоки, намотанной подъ нѣкоторымъ угломъ $\psi$ къ главной обмоткѣ.

Въ моментъ пусканія въ ходъ электродвигателя обмотка эта питается токомъ, отвѣтвленнымъ отъ главнаго тока и отличающимся отъ него въ фазѣ на нѣкоторый уголъ $\alpha$.



Фиг. 7.

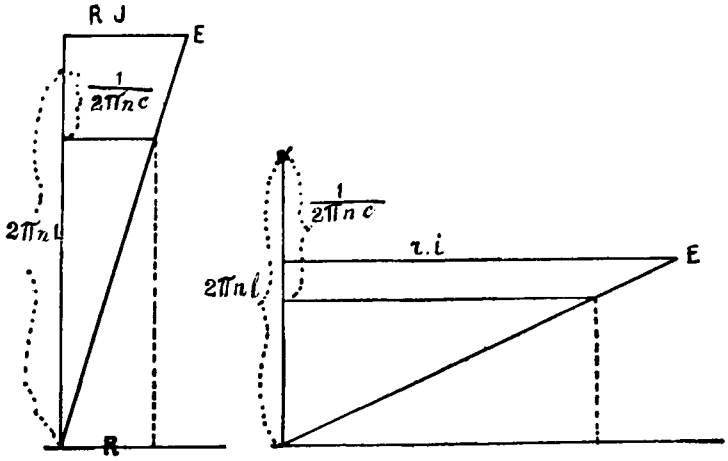
Если радіусы векторы R и $r$ на фиг. 7 изображаютъ главный и вспомогательный періоди-

чески измѣняющіеся магнитные потоки по амплитудѣ и направленію, то разлагая каждый изъ нихъ на два вращающіеся въ противоположныхъ направленіяхъ постоянные магнитные потоки одинаковой силы $a_1$ и $b_1$ и $a_2$ и $b_2$ и складывая геометрически потоки одинаковаго направленія вращенія $a_1$, $a_2$ и $b_1$, $b_2$ въ $a$ и $b$, найдемъ, что, благодаря вспомогательной обмоткѣ, одинъ изъ двухъ первичныхъ магнитныхъ потоковъ $b$ получаетъ преобладаніе надъ другимъ $a$. Само собой разумѣется, что большему первичному потоку $b$ будетъ соотвѣтствовать и большій вторичный, и якорь начнетъ вращаться въ одинаковомъ направленіи съ большимъ потокомъ.

При данной силѣ тока въ вспомогательной первичной обмоткѣ дѣйствіе ея тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе углы $\psi$ и $\alpha$ къ прямому. Это можно бы было легко показать графически.

Наиболѣе употребительныя приспособленія для пусканія въ ходъ однофазныхъ индукціонныхъ электродвигателей основаны на указанномъ принципѣ и отличаются одно отъ другого лишь способомъ достиженія различія въ фазахъ между токами главной и вспомогательной первичной обмотокъ и нѣкоторыми подробностями въ соединеніи обѣихъ обмотокъ.

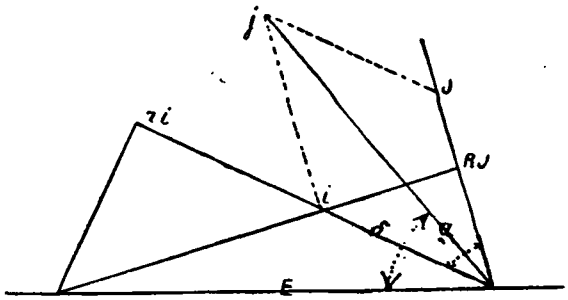
Различіе въ фазахъ между токами въ главной и вспомогательной обмоткахъ достигается




Фиг. 8.

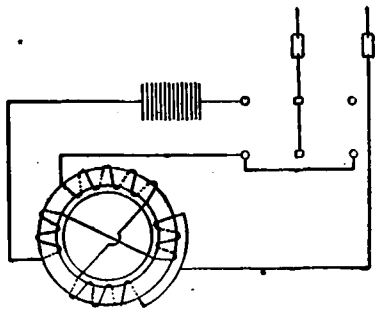
измѣненіемъ соотношенія между сопротивленіемъ, самоиндукціей и емкостью въ параллельно включаемыхъ обмоткахъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ пользуются для этой цѣли и взаимоиндукціей. Если R, L, C и $r$, $l$, $c$ сопротивленіе, коэффиціентъ самоиндукціи и емкость главной и вспомогательной обмотокъ въ практическихъ единицахъ (омъ, генри и фарадъ), $n$ число періодовъ перемѣннаго тока въ секунду и E дѣйствительное значеніе напряженія на борнахъ электродвигателя въ вольтахъ, то токи I, $i$ въ обѣихъ обмоткахъ по величинѣ и фазѣ найдутся изъ діаграммъ 1 и 2 (фиг. 8) непосредственно въ амперахъ. Накладывая одну изъ этихъ діаграммъ на другую такъ, чтобы стороны ихъ, изображающія напряженіе E, совпали, найдемъ уголъ разности $\alpha$ въ фазахъ между обоими токами, величину результирующаго тока въ цѣпи и уголъ различія $\delta$ въ фазахъ между этимъ токомъ и напряженіемъ E (фиг. 9).




Фиг. 9.

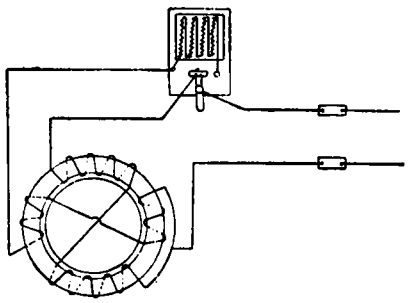
Въ приспособленіяхъ для пусканія въ ходъ системы Броуна различіе въ фазахъ между токами главной и вспомогательной обмотокъ достигается примѣненіемъ емкости, вводимой въ цѣпь вспомогательной обмотки. Вспомогательная обмотка, протекаемая токомъ лишь въ теченіе короткаго промежутка времени, берется изъ тонкой проволоки и наматывается подъ прямымъ угломъ къ главной обмоткѣ. Емкость представляетъ собою поляризаціонную баттарею, электроды которой изъ жести, электролитъ — слабый водный растворъ кристаллической соды. Схема соединенія видна изъ фиг. 10. Разность въ фазахъ между токами главной и вспомогательной обмотокъ равна $\frac{\pi}{2}$.



Фиг. 10.

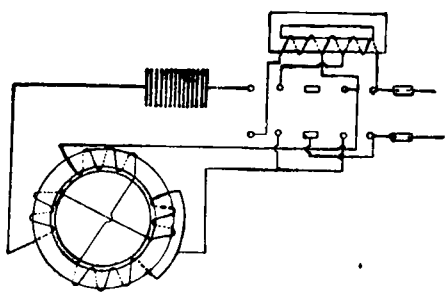
Для электродвигателей малой мощности (менѣе 1 Н.Р. фирма Броунъ, Бовери и К° употребляетъ лишь реостатъ, вводимый въ цѣпь вспомогательной обмотки въ моментъ пусканія въ ходъ фиг. 11. Различіе въ фазахъ между главнымъ и вспомогательнымъ токами обусловливается въ этомъ случаѣ лишь различіемъ въ омическомъ сопротивленіи обѣихъ обмотокъ, и хотя токъ въ вспомогательной обмоткѣ довольно слабъ и отличается въ фазѣ отъ главнаго тока на уголъ значительно меньшій $\frac{\pi}{2}$, тѣмъ не менѣе такое

приспособленіе вполнѣ достаточно для того, чтобы заставить электродвигатель прійти во вращеніе порожнемъ (т. е. при переведенномъ на холостой шкивъ ремнѣ или при разомкнутой соединительной муфтѣ).



Фиг. 11.

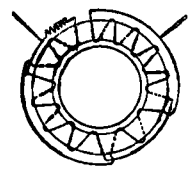
Для уменьшенія силы тока, поглощаемой электродвигателемъ въ моментъ пусканія въ ходъ, особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда двигатель долженъ приходить во вращеніе подъ нагрузкой, Броунъ предложилъ пользоваться трансформаторомъ съ одной катушкой. Концы катушки (фиг. 12) присоединяются къ обоимъ проводамъ



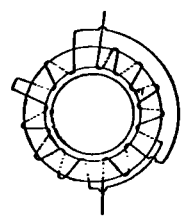
Фиг. 12.

цѣпи; при помощи отвѣтвленія отъ этой катушки берется для главной обмотки электродвигателя въ моментъ пусканія въ ходъ токъ меньшаго напряженія, чѣмъ въ цѣпи. Въ электродвигателяхъ значительной мощности, снабжаемыхъ обмотаннымъ якоремъ, употребляется для этой же цѣли еще и реостатъ съ тремя группами сопротивленій, включаемыхъ въ фазы якорной обмотки въ моментъ пусканія въ ходъ и выключаемыхъ постепенно по мѣрѣ увеличенія числа оборотовъ якоря.

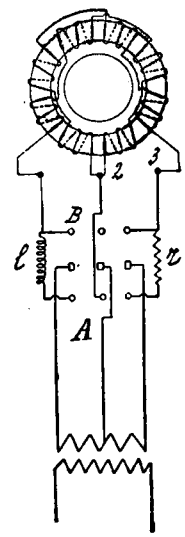
Фирма Эрликонъ въ своихъ аппаратахъ для пусканія въ ходъ электродвигателя однофазнаго перемѣннаго тока вмѣсто емкости пользуется самоиндукціей. Существеннѣйшую часть аппарата составляетъ соленоидъ съ передвигающимся аксіально желѣзнымъ сердечникомъ. Въ моментъ пусканія сердечникъ опускается внутрь соленоида, включаемаго въ цѣпь вспомогательной обмотки; самоиндукція этой обмотки будетъ значительно больше самоиндукціи включенной параллельно съ ней главной обмотки, чѣмъ и вызывается различіе въ фазахъ между токами въ обѣихъ обмоткахъ. По мѣрѣ увеличенія числа оборотовъ якоря желѣзный сердечникъ все болѣе и болѣе выдвигается изъ катушки. Соединеніе главной и вспомогательной первичныхъ обмотокъ представляетъ нѣкоторыя особенности; именно вспомогательныя обмотки, состоятъ изъ меньшаго числа оборотовъ проволоки одинаковой толщины съ главной и въ моментъ пусканія въ ходъ электродвигателя обѣ обмотки включаются параллельно, причемъ въ цѣпь вспомогательной обмотки вводится соленоидъ. По достиженіи электродвигателемъ нормальнаго числа оборотовъ обѣ обмотки посредствомъ переключателя соединяются послѣдовательно. Выгода такого переключенія въ томъ, что вспомогательная обмотка во время работы электродвигателя не занимаетъ напрасно мѣста, уменьшая тѣмъ въ нѣкоторой степени работоспособность двигателя, а утилизируется наравнѣ съ главной обмоткой. Схематически описанное соединеніе обмотокъ изображено на фиг. 13 и 14; при этомъ фиг. 13 соотвѣтствуетъ пусканію въ ходъ, фиг. 14 работѣ электродвигателя.



Фиг. 13.



Фиг. 14.




Фиг. 15.

Фирма Ганцъ и К° *) снабжаетъ асинхроническій электродвигатель перемѣннаго тока двумя совершенно тождественными первичными обмотками, намотанными подъ угломъ, соотвѣтствующимъ половинѣ разстоянія между двумя послѣдовательными полюсами. Электродвигатель снабжается тремя зажимами 1, 2 и 3 фиг. 15; два сосѣдніе конца обѣихъ обмотокъ соединены съ среднимъ зажимомъ 2, два другіе конца съ зажимами 1 и 3.

Включеніе двигателя въ цѣпь совершается при помощи трехполюснаго переключателя. Для пусканія въ ходъ переключатель приводится въ положеніе A, при которомъ, какъ видно изъ фиг. 15, въ цѣпь одной изъ обмотокъ включенъ

*) См. Z. d. V. d. Ing., 97, № 29.

соленоидъ $l$ съ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи, въ цѣпь другой—неиндуктивное сопротивленіе $r$, и общая точка 2 обѣихъ цѣпей соединена съ вспомогательнымъ проводомъ, идущимъ отъ середины вторичной обмотки трансформатора и дѣлящимъ напряженіе между главными проводами пополамъ.

По достиженіи двигателемъ нормальнаго числа оборотовъ, переключатель переводится въ положеніе B, при которомъ самоиндукція $l$ и сопротивленіе $r$ выключены изъ цѣпей обѣихъ обмотокъ и соединеніе зажима 2 съ вспомогательнымъ проводомъ нарушено.

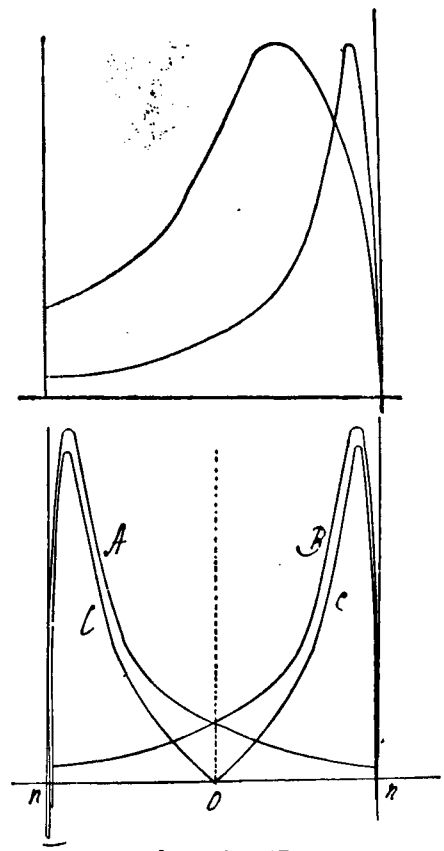
Необходимость вспомогательнаго провода представляетъ нѣкоторое усложненіе, компенсируемое, однако, тѣмъ обстоятельствомъ, что въ моментъ пусканія въ ходъ между концами цѣпей обѣихъ обмотокъ имѣетъ мѣсто напряженіе, равное половинѣ напряженія между главными проводами; сила тока, поглощаемаго двигателемъ при пусканіи въ ходъ, можетъ быть, поэтому, значительно меньше, чѣмъ при ранѣе описанномъ параллельномъ включеніи главной и впомогательной обмотокъ въ моментъ пусканія. Для электродвигателей въ $^1/_4$ и $^1/_2$ Н.Р. фирма Ганцъ и К°, подобно Броунъ, Бовери и К°, употребляетъ простой реостатъ, сопротивленіе котораго вводится въ цѣпь одной изъ обмотокъ при пусканіи въ ходъ.

Кромѣ описанныхъ приспособленій, для достиженія различія въ фазахъ между токами въ главной и вспомогательной обмоткахъ можно пользоваться маленькимъ трансформаторомъ, первичная обмотка котораго включается параллельно съ главной обмоткой электродвигателя, вспомогательная же обмотка электродвигателя присоединяется къ концамъ вторичной обмотки трансформатора. Трансформаторъ долженъ быть построенъ такъ, чтобы утечка линій силъ была въ немъ по возможности больше, такъ какъ этой утечкой обусловливается главнымъ образомъ разность въ фазахъ между первичнымъ и вторичнымъ токами. Достигнуть такимъ способомъ различія въ фазахъ близкаго къ $\frac{\pi}{2}$ невозможно; равнымъ образомъ и при пользованіи самоиндукціей уголъ различія въ фазахъ между главнымъ и вспомогательнымъ токами всегда менѣе $\frac{\pi}{2}$. Примѣненіе емкости въ этомъ отношеніи наиболѣе цѣлесообразно.

Выше мы видѣли, что въ однофазномъ индукціонномъ электродвигателѣ равенство двухъ противоположныхъ моментовъ вращенія A и B (фиг. 6), имѣющее мѣсто при неподвижномъ якорѣ, при вращеніи якоря нарушается и моментъ вращенія, дѣйствующій въ томъ направленіи, въ которомъ вращается якорь, получаетъ преобладаніе надъ противоположнымъ моментомъ вращенія. Отсюда слѣдуетъ, что, приводя якорь во вращеніе, посредствомъ рукоятки, напр., мы тѣмъ самымъ заставимъ электродвигатель быстро достигнуть нормальнаго числа оборотовъ. Такой способъ и практикуется въ нѣкоторыхъ случаяхъ для пусканія въ ходъ электродвигателей малой мощности.

Новый лишь на дняхъ опубликованный способъ пусканія въ ходъ однофазныхъ асинхроническихъ электродвигателей, предложенный Р. Арно *), представляетъ собою усовершенствованіе описаннаго пріема.

Изъ теоріи асинхроническихъ многофазныхъ электродвигателей извѣстно, что при измѣненіи соотношенія между величиной самоиндукціи и омическаго сопротивленія вторичной обмотки измѣняется форма кривой моментовъ вращенія и другихъ характеристикъ электродвигателя. Этимъ обстоятельствомъ и пользуются на практикѣ, включая въ фазы вторичной обмотки многофазнаго, асинхроническаго электродвигателя въ моментъ пусканія въ ходъ сопротивленія реостата и уменьшая этимъ силу тока, поглощаемаго двигателями при пусканіи въ ходъ подъ нагрузкой Чѣмъ больше сопротивленіе, вводимое въ цѣпь вторичной обмотки, тѣмъ меньшему числу оборотовъ якоря соотвѣтствуетъ наибольшее значеніе момента вращенія. На фиг. 16 изображены




Фиг. 16 и 17.

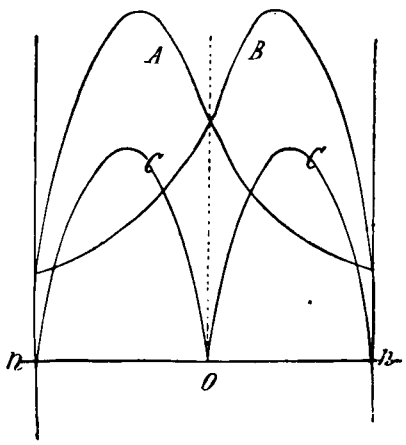
кривыя моментовъ вращенія многофазнаго двигателя, соотвѣтствующія двумъ различнымъ зна-

*) См. E. T. Z. 98 № 7.

ченіямъ $\frac{l}{r}$, гдѣ $l$ коэффиціентъ самоиндукціи, $r$ сопротивленіе каждой фазы вторичной обмотки.

Кривыя А и В (фиг. 6) въ противоположныхъ направленіяхъ дѣйствующихъ моментовъ вращенія однофазнаго асинхроническаго электродвигателя тождественны по формѣ съ кривой моментовъ вращенія многофазнаго двигателя, и увеличеніе сопротивленія вторичной обмотки однофазнаго асинхроническаго двигателя вызываетъ въ формѣ ихъ измѣненія совершенно одинаковыя съ вышеуказанными

Изъ этихъ соображеній Р. Арно пришелъ къ тому выводу, что, выбирая надлежащимъ образомъ величину сопротивленія, вводимаго въ цѣпь вторичной обмотки однофазнаго индукціоннаго двигателя, можно доставить значительное преобладаніе одному изъ моментовъ вращенія А и В надъ другимъ уже при самой незначительной скорости вращенія якоря. На фиг. 17 изображены кривыя А и В и получаемая изъ нихъ кривая С дѣйствительныхъ моментовъ вращенія однофазнаго асинхроническаго электродвигателя, приблизительно соотвѣтствующая работѣ двигателя при выключенномъ изъ обмотки якоря реостатѣ. На фиг. 18 представлены такія же кри-

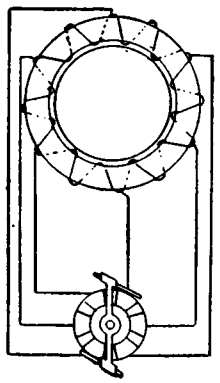



Фиг. 18.

выя—при включенномъ въ обмотку якоря значительномъ сопротивленіи. Сравненіе кривыхъ С въ первомъ и во второмъ случаѣ подтверждаетъ правильность сказаннаго. Способъ Арно заключается, слѣдовательно, въ томъ, что передъ включеніемъ электродвигателя въ цѣпь вторичной обмотки его (обмотка якоря или ротора) вводится реостатъ опредѣленнаго сопротивленія, затѣмъ якорю сообщается легкій толчекъ въ томъ направленіи, въ которомъ онъ долженъ вращаться, и одновременно замыкается первичный токъ; якорь продолжаетъ вращаться, быстро достигая нормальнаго числа оборотовъ; при этомъ сопротивленіе реостата выводится постепенно—по мѣрѣ увеличенія оборотовъ якоря — изъ цѣпи вторичной обмотки. Способъ этотъ, примѣнимый къ электродвигателямъ любой мощности съ обмотаннымъ якоремъ, долженъ быть признанъ несомнѣнно самымъ простымъ изъ существующихъ*).

Если ближе присмотрѣться къ сущности предшествующаго способа, то легко замѣтить, что для того, чтобы доставить преобладаніе одному изъ моментовъ вращенія А и В надъ другимъ, нѣтъ необходимости непремѣнно вращать якорь, а достаточно вообще заставить тѣмъ или инымъ путемъ первичный періодически измѣняющійся магнитный потокъ и вторичную обмотку измѣнять ихъ относительное положеніе.

Снабжая первичную неподвижную обмотку электродвигателя коллекторомъ съ двумя могущими вращаться щетками, черезъ посредство которыхъ обмотка питается токомъ, и вращая щеткодержатель, мы заставимъ тѣмъ самымъ первичный магнитный потокъ измѣнять свое положеніе по отношенію къ обмоткѣ якоря фиг. 19. Результатъ, очевидно, будетъ тотъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, т. е. двигатель прійдетъ самъ собою во вращеніе.



Фиг. 19.

Этотъ способъ и примѣняется въ нѣкоторыхъ случаяхъ фирмою Эрликонъ, причемъ коллекторъ, состоящій изъ небольшаго числа сегментовъ, можетъ быть монтированъ на коммутаціонной доскѣ вблизи электродвигателя.

Примѣненіе при этомъ способѣ, предложеннаго Рик. Арно реостата, включаемаго въ цѣпь обмотки якоря, позволитъ вмѣсто сравнительно быстраго вращенія щеткодержателя обойтись поворотомъ его на нѣкоторый уголъ, такъ что вмѣсто полнаго коллектора достаточна будетъ лишь часть его.

Измѣненіе относительнаго положенія первичнаго магнитнаго потока и вторичной обмотки можетъ быть осуществлено, наконецъ, еще третьимъ способомъ. Пусть, наприм., вторичная обмотка электродвигателя состоитъ изъ трехъ катушекъ, оси которыхъ составляютъ между собой углы въ 120°. Соединяя три конца катушекъ въ общей точкѣ, а три свободные конца съ коммутаторомъ, состоящимъ лишь изъ трехъ сегментовъ, и вращая по поверхности коммутатора щетку, приводящую въ соединеніе послѣдовательно двѣ изъ трехъ катушекъ вторичной обмотки, мы тѣмъ самымъ заставимъ электродвигатель прійти во вращеніе. Въ самомъ дѣлѣ, такой способъ совершенно равносиленъ тому, какъ если бы мы привели во вращеніе (при помощи рукоятки, напр.) якорь, снабженный лишь двумя

*) Въ E. T. Z. 98, № 9. Э. Кольбенъ заявляетъ, что примѣняетъ способъ, описанный Арно, уже въ теченіе двухъ лѣтъ.

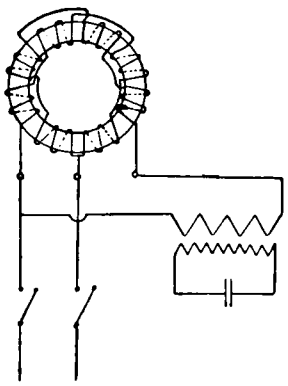
катушками. Само собой разумѣется, что между каждыми двумя сегментами коллектора должно быть включено большое сопротивленіе, во избѣжаніе размыканія катушекъ при вращеніи щетки и сопряженнаго съ нимъ искрообразованія.

Способъ этотъ, насколько мнѣ извѣстно, никѣмъ предложенъ не былъ, что не мѣшаетъ ему быть вполнѣ осуществимымъ примѣнительно къ однофазнымъ асинхроническимъ электродвигателямъ съ обмотаннымъ якоремъ.

Кромѣ описанныхъ способовъ двухъ разныхъ типовъ для пусканія въ ходъ однофазныхъ индукціонныхъ электродвигателей существуютъ еще иные, напр., вторичная обмотка снабжается коллекторомъ и первичный токъ при пусканіи въ ходъ пускается и въ эту обмотку, такъ что двигатель приходитъ во вращеніе, какъ шунтовой электродвигатель перемѣннаго тока. Такого рода приспособленія сложны и не практичны, такъ что останавливаться на описаніи ихъ не приходится.

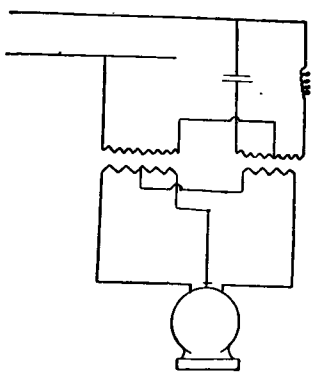
На ряду съ стремленіемъ устранить главный недостатокъ однофазныхъ индукціонныхъ электродвигателей при помощи различныхъ аппаратовъ для пусканія въ ходъ шла работа иного рода, направленная не къ улучшенію двигателей однофазнаго тока, а къ осуществленію возможности пользованія перемѣннымъ токомъ для питанія болѣе совершенныхъ асинхроническихъ двигателей многофазнаго тока (двухфазнаго или трехфазнаго).

Понятно, что и въ этомъ случаѣ нужны спеціальныя приспособленія, превращающія однофазный токъ въ двухъ или трехфазный, но приспособленія эти остаются включенными въ цѣпь электродвигателя все время при работѣ его и должны быть, поэтому, спроектированы такъ, чтобы потеря энергіи въ нихъ была по возможности мала. Очень просто разрѣшена эта задача примѣнительно къ двухфазному электродвигателю фирмой Ганцъ и К°. Въ одну фазу двухфазной первичной обмотки пускается токъ непосредственно изъ цѣпи, другая фаза лежитъ въ отвѣтвленіи послѣдовательно съ первичной обмоткой вспомогательнаго трансформатора, вторичная обмотка высокаго напряженія котораго замкнута на конденсаторъ (фиг. 20). Необходимость трансформатора вытекаетъ изъ того обстоятельства, что для одинаковой кажущейся мощности конденсаторъ для высокаго напряженія можетъ быть легче, дешевле и надежнѣе построенъ, чѣмъ для низкаго напряженія. Испытаніе одного такого электродвигателя мощностью въ 6 Н.Р. при 42 періодахъ перемѣннаго тока въ секунду показало *), что при емкости конденсатора въ 2 микрофарада и при 4.000 вольтахъ между концами катушки высокаго напряженія трансформатора, электродвигатель приходитъ въ движеніе съ моментомъ вращенія, равнымъ нормальному (т. е. такому, который соотвѣтствуетъ развиваемой электродвигателемъ при нормальномъ числѣ оборотовъ мощности въ 6 Н.Р.). Потеря энергіи въ конденсаторѣ вслѣдствіе электростатическаго гистерезиса не превышаетъ 100 уаттъ; коэффиціентъ полезнаго дѣйствія электродвигателя, принимая во вниманіе потерю въ конденсаторѣ и вспомогательномъ трансформаторѣ 76—77%. Въ своихъ конденсаторахъ фирма Ганцъ и К° въ качествѣ діэлектрика употребляетъ масло; во избѣжаніе скопленія воздушныхъ пузырьковъ въ маслѣ и обусловливаемаго такимъ скопленіемъ соединенія между обложками конденсаторъ помѣщается въ безводушномъ пространствѣ.



Фиг. 20.

Для того, чтобы имѣть возможность присоединить къ цѣпи однофазнаго тока трехфазный электродвагатель, можно, какъ это было предложено Брадлеемъ **) ,превращать однофазный токъ при помощи самоиндукціи и емкости въ двухфазный съ разностью фазъ въ $\frac{\pi}{2}$, а затѣмъ двухфазный посредствомъ двухъ трансформаторовъ съ скомбинированными по способу Скотта обмотками въ трехфазный. Фиг. 21 поясняетъ этотъ способъ. Сложность и непрактичность его сразу бросаются въ глаза.



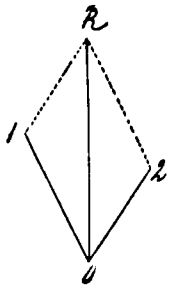
Фиг 21.

Большаго вниманія заслуживаетъ способъ, основанный на принципѣ умноженія фазъ ***), при помощи котораго изъ двухфазнаго тока можно получить цѣлую систему токовъ различныхъ фазъ.

Пусть, напримѣръ, изъ однофазнаго тока при посредствѣ самоиндукціи получены въ двухъ параллельныхъ отвѣтвленіяхъ два тока $i_1$ и $i_2$, отличающіеся въ фазахъ на нѣкоторый уголъ $\alpha$. Пустимъ эти токи въ двѣ обмотки желѣзнаго сердечника съ $W_1$ и $W_2$ оборотами проволоки, тогда, очевидно, магнитные потоки, порождаемые токами $i_1$ и $i_2$ въ сердечникѣ будутъ пропорціональны произведеніямъ $i_1 . W_1$ и $i_2 . W_2$ и могутъ быть изображены по величинѣ и фазѣ радіусами векторами 01 и 02 на фиг. 22. Геометрическая сумма OR этихъ радіусовъ-векторовъ предста-

*) См. Z. d. V. d. Ing., 97, № 29.
**) См. E, T. Z., 96, № 4.
***) См. E. T. Z., 94, S. 35.

витъ*) по величинѣ и фазѣ результирующій магнитный потокъ, порождаемый въ желѣзномъ сердечникѣ совмѣстнымъ дѣйствіемъ токовъ $i_1$ и $i_2$. Подвергая дѣйствію токовъ $i_1$ и $i_2$ любое число желѣзныхъ сердечниковъ и измѣняя отношеніе между числомъ витковъ $W_1$ и $W_2$ (а также и направленіе, въ которомъ токъ протекаетъ соотвѣтственную обмотку), можемъ получить въ сердечникахъ магнитные потоки различныхъ фазъ. Снабжая эти сердечники вторичными обмотками, получимъ въ нихъ соотвѣтственное число токовъ различныхъ фазъ. Этимъ принципомъ умноженія и предложилъ воспользоваться М. Дери для преобразованія однофазнаго тока въ трехфазный. При помощи самоиндукціи онъ достигаетъ различія въ фазахъ между главнымъ и отвѣтвленнымъ токомъ на 60%; пускаетъ главный токъ $i_1$ черезъ обмотку одного трансформатора съ $W_1$ оборотами проволоки; отвѣтвленный токъ черезъ обмотку второго трансформатора съ $W_2$ оборотами проволоки (при чемъ $W_1 . i_1 = W_2 . i_2$) въ обратномъ направленіи; наконецъ третій трансформаторъ снабжается двумя первичными обмотками съ $W_1$ и $W_2$ оборотами проволоки, протекаемыми тоже токами $i_1$ и $i_2$, но въ обратномъ направленіи сравнительно съ обмотками первыхъ двухъ трансформаторовъ. Въ трехъ вторичныхъ обмоткахъ этихъ трансформаторовъ получимъ электровозбудительныя силы, отличающіяся въ фазѣ одна отъ другой на 120%. Вмѣсто трехъ отдѣльныхъ трансформаторовъ можетъ быть взятъ одинъ съ тремя сердечниками, какъ это и было сдѣлано М. Дери.



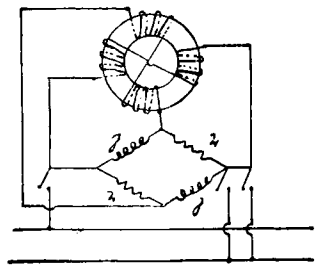
Фиг. 22.

Недостатокъ этого способа въ томъ, что углы различія въ фазахъ между тремя токами будутъ равны и вообще всѣ явленія въ трехъ фазахъ обмотки электродвигателя симметричны лишь при нѣкоторой опредѣленной нагрузкѣ; при измѣненіи нагрузки въ одну или другую сторону симметрія трехъ фазъ нарушается, вращающійся магнитный токъ становится сильно пульсирующимъ и электродвигатель чрезмѣрно нагрѣвается. Во избѣжаніе этого необходимо возстановлять симметрію явленій въ трехъ фазахъ надлежащимъ измѣненіемъ величины самоиндукціи, служащей для полученія различія въ фазахъ между токами $i_1$ и $i_2$.

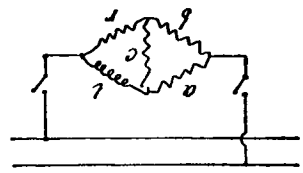
Оригинальный способъ разложенія однофазнаго тока на два тока съ любымъ различіемъ фазъ предложенъ Гергесомъ*). Приспособленіе для полученія тока со смѣщенной фазой выполняется имъ по схемѣ Уитстонова мостика. Между концами одной діагонали имѣетъ мѣсто напряженіе цѣпи; одна пара противолежащихъ сторонъ составлена изъ неиндуктивныхъ сопротивленій, другая изъ соленоидовъ съ большими коэффиціентами самоиндукцій.

При надлежащемъ выборѣ величины сопротивленій и самоиндукціи можно получить на концахъ второй діагонали мостика напряженіе, отличающееся по фазѣ отъ напряженія цѣпи на 90°.

При помощи такого приспособленія можно, какъ это показано на фиг. 23, включать двухфазные электродвигатели въ цѣпь однофазнаго тока. Особенность описаннаго способа заключается, во-первыхъ, въ томъ, что разность въ фазахъ на $\frac{\pi}{2}$ можетъ быть достигнута безъ употребленія емкости; во-вторыхъ, этимъ способомъ смѣщенія фазы тока достигается одновременно со смѣщеніемъ фазы напряженія, благодаря чему двухфазный электродвигатель, включенный при посредствѣ этого способа въ цѣпь однофазнаго тока, работаетъ совершенно въ такихъ же условіяхъ, какъ если бы онъ питался двухфазнымъ токомъ.


Фиг. 23.

Недостатокъ этого способа въ томъ, что смѣщенное въ фазѣ напряженіе получается меньше напряженія цѣпи. Этимъ же способомъ можно пользоваться, какъ показалъ Доливо-Добровольскій, для присоединенія трехфазныхъ электродвигателей къ цѣпи однофазнаго тока. Надлежащимъ выборомъ самоиндукціи $l$ и сопротивленія $r$ въ схемѣ фиг. 24 можно достигнуть равенства напряженій $e_1$ и $e_2$ между концами сторонъ $a$ и $b$ мостика и различія въ фазахъ между этими напряженіями въ 60°; тогда и напряженіе $e_3$ между концами стороны $c$ будетъ равно $e_1 = e_2$.


Фиг. 24.

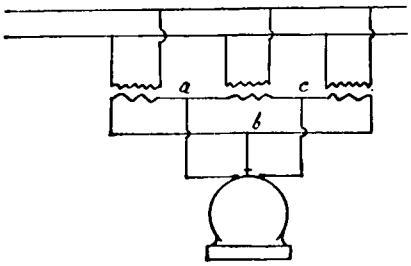
Три фазы первичной обмотки трехфазнаго электродвигателя включаются въ стороны $a, b$ и $c$ мостика и двигатель питается трехфазнымъ токомъ.

Отличный отъ описанныхъ способъ, позволяющій примыкать трехфазные электродвигатели къ цѣпи однофазнаго тока, заключается въ слѣдующемъ. Если взять три совершенно одинаковыхъ трансформатора, первичныя обмотки которыхъ включены параллельно въ цѣпь однофазнаго перемѣннаго тока (см. фиг. 25), вторичныя же обмотки соединены послѣдовательно, и если отъ точекъ соединенія вторичныхъ обмотокъ повести три провода $a$, $b$, $c$ къ зажимамъ трехфазнаго электродвигателя, то напряженія между каждыми двумя зажимами будутъ одной и той же фазы

*) Въ предположеніи, что желѣзо сердечника далеко отъ насыщенія.

**) E. T. Z., 98, № 11.

и электродвигатель во вращеніе не придетъ. Если же якорь электродвигателя будетъ приведенъ во вращеніе тѣмъ или инымъ способомъ, то въ трехъ фазахъ первичной обмотки двигателя индуктируются электровозбудительныя силы

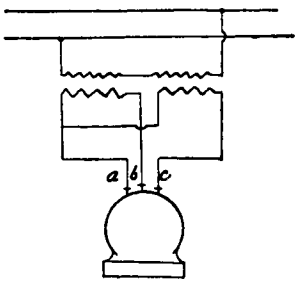



Фиг. 25.

различныхъ фазъ и онъ продолжаетъ работать, получая изъ вторичныхъ обмотокъ трансформаторовъ трехфазный токъ.

Для пусканія въ ходъ двигателя необходимо вызвать различіе въ фазахъ между токами включеніемъ самоиндукціи и сопротивленія въ двѣ изъ трехъ фазъ первичной обмотки электродвигателя.

Фирма Уніонъ въ Берлинѣ примѣняетъ *) этотъ способъ въ нѣсколько упрощенной формѣ. Вмѣсто трехъ трансформаторовъ помянутая фирма пользуется лишь двумя, первичныя обмотки которыхъ включаются послѣдовательно въ цѣпь однофазнаго перемѣннаго тока, вторичныя же соединяются противоположно (см. фиг. 26). Отъ точки соединенія вторичныхъ обмотокъ и отъ двухъ свободныхъ концовъ ихъ ведутъ три провода *a*, *b*, *c* къ зажимамъ электродвигателя.



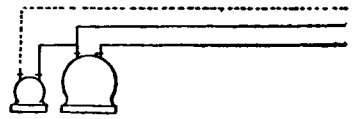

Фиг. 26.

Пусканіе въ ходъ производится при помощи соленоида съ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи и реостата, выключаемыхъ въ двѣ фазы двигателя. Не трудно видѣть, что полная симметрія явленій въ трехъ фазахъ электродвигателя при этомъ и предшествующемъ способахъ не достижима; поэтому позволительно сомнѣваться въ хорошихъ результатахъ примѣненія ихъ.

Между тѣмъ исканіе болѣе простого и болѣе удобнаго и совершеннаго способа привело къ мысли объ иномъ рѣшеніи вопроса. Вмѣсто того, чтобы получать вспомогательный токъ, отличающійся въ фазѣ отъ главнаго, при помощи спеціальнаго аппарата для каждаго электродвигателя отдѣльно, было предложено производить его на центральной станціи въ особомъ генераторѣ.

*) См. E. T. Z., 97, № 50.

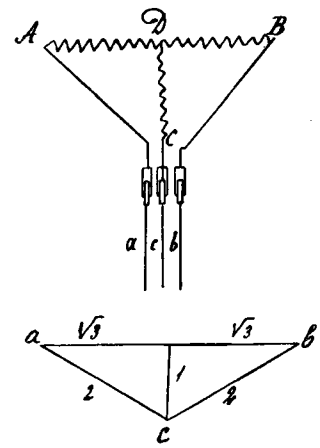
Такъ какъ вспомогательный токъ необходимъ лишь при пусканіи электродвигателей въ ходъ, то генераторъ этотъ можетъ быть небольшой сравнительно мощности. Для уменьшенія числа проводовъ можно одинъ изъ проводовъ, ведущихъ вспомогательный токъ, соединить съ однитъ изъ главныхъ проводовъ, иными словами можно обойтись съ тремя проводами, какъ это показано на фиг. 27. Этотъ



Фиг. 27.

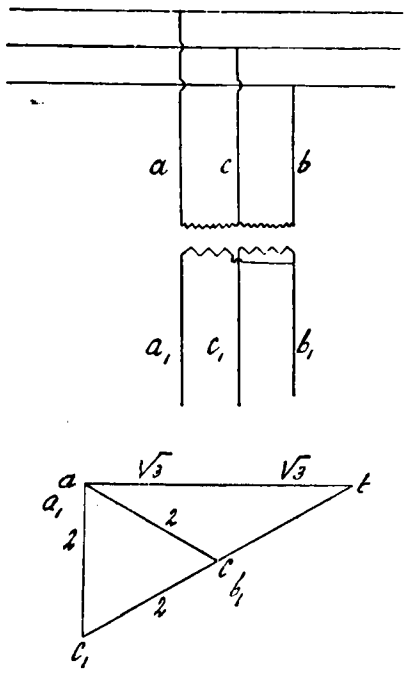
вспомогательный токъ, отличающійся въ фазѣ отъ главнаго, можетъ быть полученъ и отъ возбудительной динамо-машины, взятой нѣсколько большей мощности, чѣмъ нужно для возбужденія, и снабженной кромѣ коллектора еще двумя контактными кольцами и щетками для полученія перемѣннаго тока. Само собой разумѣется, что число періодовъ вспомогательнаго тока должно быть одинаково съ главнымъ. Наконецъ, вспомогательный токъ можетъ производиться и въ генераторѣ главнаго тока, снабженномъ для этой цѣли вспомогательной обмоткой. Это именно и имѣетъ мѣсто въ такъ называемой моноциклической системѣ.

Кромѣ главной обмотки генераторъ снабжается вспомогательной, расположенной по отношенію къ главной такъ, что индуктируемыя въ обѣихъ обмоткахъ электровозбудительныя силы отличаются въ фазѣ на уголъ $\frac{\pi}{2}$. Одинъ конецъ вспомогательной обмотки соединенъ съ серединой главной, другой конецъ ея и оба конца главной находятся въ соединеніи съ тремя контактными кольцами (фиг. 28). Число оборотовъ проволоки въ главной и вспомогательныхъ обмоткахъ выбрано такъ, что отношеніе между электровозбудительными силами въ главной и вспомогательной обмоткахъ равно $2\sqrt{3}:1$. Изъ діаграммы фигуры 28 видно, что напряженіе между свободнымъ концомъ C вспомогательной обмотки и каждымъ изъ концовъ A и B главной вдвое больше напряженія между концами D и C вспомогательной обмотки, и напряженіе между двумя главными проводами *a* и *b* относится къ напряженію между вспомогательнымъ проводомъ *c*




Фиг. 28.

и каждымъ изъ главныхъ, какъ $\sqrt{3}:1$. Устанавливая на вторичной станціи два одинаковыхъ трансформатора, первичныя обмотки которыхъ включены между вспомогательнымъ проводомъ и каждымъ изъ главныхъ, и соединяя вторичныя обмотки этихъ трансформаторовъ такъ, какъ показано на фиг. 29, получимъ, какъ это слѣду-




Фиг. 29.

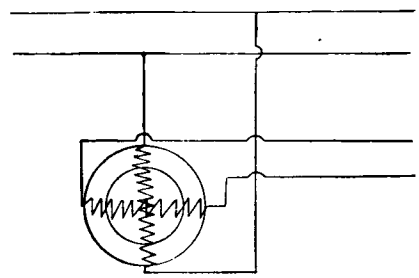
етъ непосредственно изъ діаграммы фиг. 29, между каждыми двумя вторичными проводами $a_1$, $b_1$ и $c_1$ одинаковыя напряженія, отличающіяся въ фазахъ на 120° одно отъ другого. Къ проводамъ $a$, $b$ и $c$ могутъ быть присоединены, слѣдовательно, трехфазные электродвигатели безо всякихъ измѣненій. Для освѣщенія устававливаются отдѣльные трансформаторы, включаемые между двумя главными проводами.

Пусть, напр., напряженіе между концами главной обмотки генератора равно 2.000 вольтъ, тогда между концами вспомогательной обмотки оно будетъ $\frac{2.000}{2\sqrt{3}} = 580$ вольтъ. Между вспомогательнымъ проводомъ $c$ и каждымъ изъ главныхъ $a$ и $b$ будемъ имѣть $2 \times 580 = 1.160$ вольтъ. Въ трансформаторахъ это напряженіе можетъ быть трансформируемо, напр., къ 200 вольтамъ и при помощи указаннаго соединенія вторичныхъ обмотокъ получимъ изъ проводвъ $e_1$, $b_1$ и $c_1$ трехфазный токъ въ 200 вольтъ напряженіемъ.

Описанная система была демонстрирована на Берлинской Промышленной Выставкѣ фирмой Уніонъ *). Пригодна она лишь для тѣхъ случаевъ, когда бо́льшая часть электрической энергіи расходуется на освѣщеніе. Недостатокъ ея въ трудности регулированія напряженія на борнахъ генератора и въ бо́льшей сложности устройства генератора.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится передавать электрическую энергію на значительное разстояніе, вполнѣ естественно желаніе избѣжать необходимости въ 3-мъ проводѣ. Аппараты, служащіе для производства вспомогательнаго тока для электродвигателей, должны въ этомъ случаѣ устанавливаться на вторичной станціи. Для этой цѣли можно бы было пользоваться синхроническимъ электродвигателемъ небольшой мощности, снабженнымъ кромѣ неподвижной питаемой перемѣннымъ токомъ арматуры и вращающейся системы электромагнитовъ, питаемой постояннымъ токомъ, вспомогательной неподвижной обмоткой, изъ которой и берется вспомогательный токъ, отличающійся по фазѣ отъ главнаго тока. Необходимость въ постоянномъ токѣ для возбужденія дѣлаетъ этотъ способъ мало практичнымъ.

Очень практичнымъ, наоборотъ, является способъ, предложенный Г. Феррарисомъ и Р. Арно *). Вмѣсто синхроническаго электродвигателя они пользуются въ качествѣ аппарата, производящаго вспомогательный токъ со смѣщенной фазой, асинхроническимъ электродвигателемъ однофазнаго перемѣннаго тока, снабженнымъ кромѣ неподвижной первичной обмотки еще неподвижной вторичной обмоткой, намотанной подъ прямымъ угломъ къ первичной (фиг. 30).



Фиг. 30.

Если вспомогательный токъ, отличающійся по фазѣ отъ главнаго на $\frac{\pi}{2}$, будучи пущенъ въ вспомогательную обмотку, заставляетъ коротко замкнутый якорь прійти во вращеніе, то, обратно, можно показать, что, приводя якорь во вращеніе, мы тѣмъ самымъ вызовемъ въ вспомогательной неподвижной обмоткѣ электродвигательную силу, отличающуюся въ фазѣ отъ электродвигательной силы въ главной обмоткѣ на уголъ, близкій $\frac{\pi}{2}$. Измѣняя отношеніе между числомъ оборотовъ проволоки первичной и вторичной неподвижныхъ обмотокъ, можно одновременно съ измѣненіемъ фазы измѣнять и величину напряженія

*) См. E. T. Z., 96, № 43.

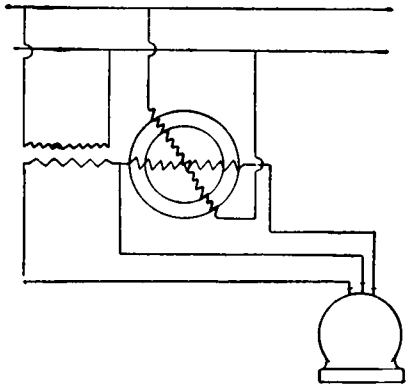
*) См. Ein neues Syst. z. elektr. Vertheilung d. Energie mittels Wechselströme vor Gal. Ferraris und Ric. Arno.

тока во вторичной неподвижной обмоткѣ. Этимъ токомъ Феррарисъ и Арно и пользуются для питанія вспомогательныхъ обмотокъ асинхроническихъ электродвигателей.

Такого рода трансформаторъ фазъ устанавливается одинъ для большаго числа электродвигателей, при этомъ онъ долженъ быть выбранъ такой мощности, чтобы вторичная неподвижная обмотка его могла выдерживать силу тока, поглощаемаго при пусканіи въ ходъ наибольшимъ изъ электродвигателей.

Само собой разумѣется, что трансформаторъ фазъ можетъ служить и для питанія двухфазныхъ электродвигателей. Онъ долженъ въ этомъ случаѣ быть взятъ гораздо большей мощности соотвѣтственно общей мощности всѣхъ электродвигателей группы.

Располагая вторичную обмотку трансформатора фазъ такъ, чтобы разность въ фазахъ между электровозбудительной силой въ ней и первичной обмоткой была равна 120° и включая эту обмотку послѣдовательно съ вторичной обмоткой обыкновеннаго трансформатора, вторичное напряженіе котораго равно напряженію между зажимами вторичной обмотки трансформатора фазъ, получимъ между каждыми двумя изъ трехъ проводовъ *a*, *b* и *c* (см. фиг. 31) одинаковыя по ве-



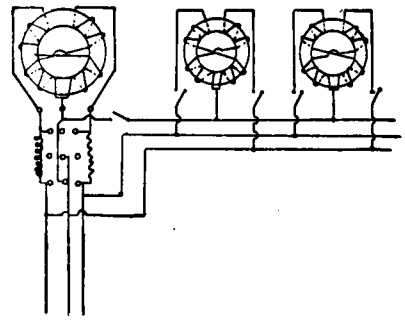
Фиг. 31.

личинѣ напряженія, отличающіяся по фазѣ на 120°. Такимъ образомъ трехфазные электродвигатели, присоединенные къ проводамъ *a*, *b* и *c*, будутъ получать трехфазный токъ. Тотъ же самый результатъ можетъ быть достигнутъ и при употребленіи трансформатора фазъ съ расположенными подъ прямымъ угломъ первичной и вторичной неподвижными обмотками при помощи способа, аналогичнаго со способомъ Скотта.

Идеей Феррариса и Арно воспользовалась фирма Ганцъ и К° въ своей системѣ пусканія въ ходъ цѣлой группы электродвигателей, питаемыхъ однофазнымъ токомъ. Однофазные электродвигатели этой фирмы, какъ было выше упомянуто, снабжаются двумя обмотками, намотанными подъ угломъ, соотвѣтствующимъ разности въ фазахъ на $\frac{\pi}{2}$.

Самый большой электродвигатель группы пускается въ ходъ при помощи самоиндукціи и сопротивленія, включаемыхъ въ цѣпь обѣихъ обмотокъ его (см. фиг. 16), при чемъ точка соединенія обмотокъ приводится посредствомъ третьяго провода въ соединеніи съ серединой вторичной обмотки трансформатора. Разъ якорь пришелъ во вращеніе, напряженія между точкой соединенія его первичныхъ обмотокъ и ихъ концами отличаются въ фазѣ на уголъ, близкій къ $\frac{\pi}{2}$.

Если, слѣдовательно, отъ точки соединенія обмотокъ этого электродвигателя повести проводъ къ точкамъ соединенія обмотокъ остальныхъ электродвигателей группы, то можно приводить эти электродвигатели во вращеніе простымъ включеніемъ ихъ въ цѣпь посредствомъ двухполюсныхъ выключателей (см. фиг. 32). Са-



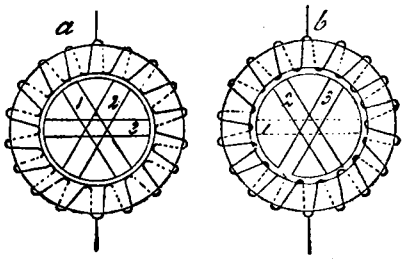
Фиг. 32.

мое включеніе должно производится постепенно, т. е. включаются не всѣ двигатели сразу, а одинъ за другимъ. Вспомогательный проводъ не только облегчаетъ пусканіе въ ходъ электродвигателей, но и даетъ имъ возможность выдерживать перегрузку. Способъ Арно и Феррариса, дающій возможность крайне простымъ и удобнымъ путемъ придать одновременно цѣлой группѣ электродвигателей однофазнаго тока всѣ качества многофазныхъ асинхроническихъ двигателей, съ большой пользой можетъ быть примѣняемъ на фабрикахъ и въ большихъ мастерскихъ городовъ съ центральными электрическими станціями, выполненными по системѣ однофазнаго перемѣннаго тока.

Послѣдній и самый радикальный путь къ усовершенствованію системы однофазнаго перемѣннаго тока выразился въ стремленіи построить индукціонный асинхроническій электродвигатель, отличный отъ электродвигателя Броуна и лишенный его недостатковъ. Въ попыткахъ этого рода не было недостатка.

Въ индукціонномъ электродвигателѣ однофазнаго тока съ коротко замкнутымъ или обмотаннымъ якоремъ въ моментъ пусканія въ ходъ въ отдѣльныхъ фазахъ якоря хотя и индуктируются токи, но взаимодѣйствіе ихъ съ первичнымъ токомъ не даетъ начала моменту вращенія или, вѣрнѣе, даетъ начало двумъ равнымъ и про-

тивоположнымъ моментамъ вращенія. Нарушить равенство этихъ противоположныхъ моментовъ вращенія можно, напр., нарушеніемъ симметріи якорной обмотки по отношенію къ первичному періодически колеблющемуся магнитному потоку. Это нарушеніе симметріи будетъ имѣть, напр., мѣсто при размыканіи одной изъ фазъ якорной обмотки, напримѣръ фазы 1 (см. фиг. 33 *а*). Ра-




Фиг. 33.

венство двухъ противоположныхъ моментовъ вращенія будетъ этимъ размыканьемъ нарушено, якорь прійдетъ въ движеніе и будетъ поворачиваться до тѣхъ поръ пока симметрія въ положеніи якорной обмотки по отношенію къ первичному магнитному потоку не возстановится, т. е. пока якорь не прійдетъ въ положеніе, показанное на фиг. 33 *в*. Если теперь снабдить электродвигатель такимъ приспособленіемъ, которое бы размыкало послѣдовательно каждую изъ фазъ якорной обмотки, какъ только она займетъ опредѣленное положеніе (положеніе фазы 1 на фиг. 33 *а*), то очевидно якорь прійдетъ въ непрерывное вращеніе. Въ такой формѣ былъ предложенъ индукціонный двигатель перемѣннаго тока Эл. Томсономъ.—Однако тотъ же результатъ можетъ быть достигнутъ и нѣсколько инымъ путемъ.

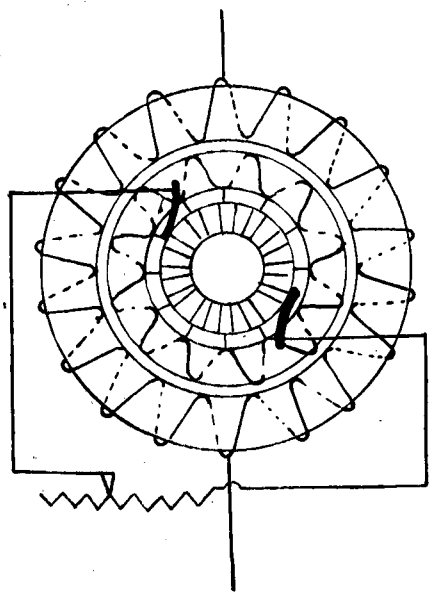
Снабдимъ якорь однофазнаго индукціоннаго электродвигателя непрерывною обмоткою, аналогичной, напр., кольцевой обмоткѣ якоря динамомашинъ постояннаго тока.

Электровозбудительныя силы, производимыя колебаніями первичнаго магнитнаго потока въ отдѣльныхъ частяхъ обмотки такого якоря, взаимно уничтожаются, такъ что тока въ немъ не будетъ.

При помощи коллектора и щетокъ, соединенныхъ между собой черезъ сопротивленіе (см. фиг. 34), можно дать преобладаніе однѣмъ электровозбудительнымъ силамъ надъ другими; въ обмоткѣ якоря возникаетъ токъ, порождающій вторичный колеблющійся магнитный потокъ неизмѣннаго направленія, взаимодѣйствіе котораго съ первичнымъ потокомъ даетъ начало моменту вращенія. Измѣненіемъ положенія щетокъ достигается измѣненіе величины момента вращенія; переставляя ихъ въ другую сторону, можно заставить двигатель измѣнить направленіе вращенія.

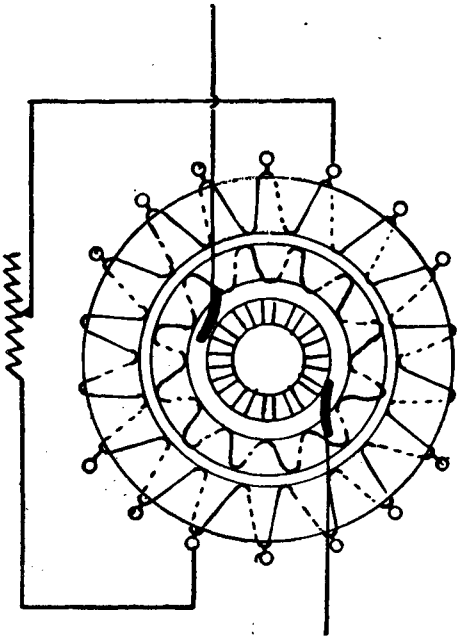
По идеѣ проф. Арнольда фирмой Эрликонъ былъ построенъ индукціонный электродвигатель съ коллекторомъ, нѣсколько отличающійся отъ только что описаннаго.

Первичная обмотка въ этомъ двигателѣ (фиг. 35) сдѣлана вращающей и снабжена коллекторомъ; вторичная неподвижная обмотка снабжена также двумя группами контактовъ, съ ко-



Фиг. 34.

торыми въ соединеніи стоятъ діаметрально противолежащія части обмотки. Щетки, скользящія по контактамъ неподвижной обмотки, соединены между собою черезъ сопротивленіе.



Фиг. 35.

Въ зависимости отъ величины угла, составляемаго линіями щетокъ, двигатель можетъ быть пущенъ въ ходъ съ большимъ или меньшимъ моментомъ вращенія. Двигатель отличается крайней эластичностью въ работѣ и число оборотовъ его можетъ быть измѣняемо въ широкихъ пре-

дѣлахъ. Передъ ранѣе описаннымъ двигателемъ съ неподвижной первичной обмоткой этотъ электродвигатель обладаетъ тѣмъ преимуществомъ, что работаетъ безъ искрообразованія.

Искрообразованіе въ электродвигателѣ съ вращающейся вторичной обмоткой легко объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что кромѣ тока, индуктируемаго въ ней періодическими колебаніями первичнаго магнитнаго потока, въ ней индуктируется также токъ, вызываемый вращеніемъ ея въ сферѣ дѣйствія этого потока.— Необходимость двухъ коллекторовъ препятствуетъ двигателю Арнольда получить широкое практическое примѣненіе.

Достигнуть усовершенствованія электродвигателя Броуна, сохраняя простоту его устройства, можно, казалось бы, совмѣщеніемъ приспособленія для пусканія въ ходъ въ одномъ цѣломъ съ двигателемъ.

Такое совмѣщеніе было предложено Н. Тесла, снабдившимъ неподвижную часть двигателя двумя обмотками, намотанными подъ прямымъ угломъ. Одна изъ нихъ состояла изъ большого числа витковъ тонкой проволоки, другая изъ небольшого числа оборотовъ толстой проволоки.

Различіе въ фазахъ между токами въ обѣихъ первичныхъ обмоткахъ обусловливалось различіемъ величины ихъ коэффиціентовъ самоиндукціи.

Но такой электродвигатель оказался далеко несовершеннымъ и для практическаго употребленія непригоднымъ. Таже участь постигла и электродвигатель Д. Корда съ трехфазной первичной обмоткой, въ которомъ разность въ фазахъ между первичными магнитными потоками достигается примѣненіемъ принципа умноженія фазъ аналогично тому, какъ это имѣетъ мѣсто въ трансформаторѣ, предложенномъ М. Дери.

Иной способъ производить въ самомъ электродвигателѣ вспомогательный токъ, отличающійся въ фазѣ отъ главнаго, основывается на взаимоиндукціи.

Неподвижная часть электродвигателя состоитъ изъ наружной обмотки А (см. фиг. 36), питаемой однофазнымъ перемѣннымъ токомъ, и внутренней замкнутой обмотки В, расположенной подъ угломъ къ А.

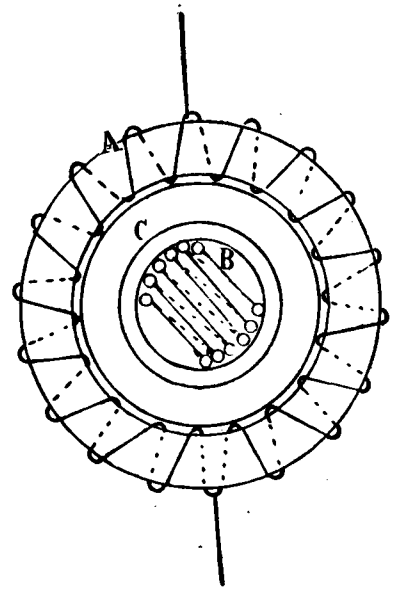
Въ пространствѣ между желѣзными сердечниками обмотокъ А и В вращается якорь С съ вторичной коротко замкнутой обмоткой.

Періодическія колебанія магнитнаго потока, порождаемаго токомъ $i$ обмотки А, индуктируютъ въ обмоткѣ В токъ $i_1$, отличающійся въ фазѣ отъ $i$.

Подъ вліяніемъ вращающагося магнитнаго потока, порождаемаго совмѣстнымъ дѣйствіемъ токовъ $i$ и $i_1$ обмотокъ А и В, якорь приходитъ во вращеніе.

Аналогичное устройство однофазнаго индукціоннаго электродвигателя было предложено Шаленбергеромъ.

Этотъ же принципъ лежитъ, повидимому, и въ основаніи устройства индукціоннаго однофазнаго электродвигателя Гейланда, съ той лишь разницей, что вспомогательная обмотка изъ небольшого числа оборотовъ проволоки помѣ-




Фиг. 36.

щается въ широкихъ углубленіяхъ неподвижнаго желѣзнаго сердечника, расположенныхъ въ промежуткахъ между узкими углубленіями, предназначенными для главной обмотки.

Хотя электродвигатель Гейланда и обладаетъ въ главныхъ чертахъ качествами многофазныхъ асинхроническихъ электродвигателей, т. е. приходитъ во вращеніе подъ нагрузкой безъ спеціальныхъ приспособленій и выдерживаетъ большую перегрузку, однако въ настоящей своей формѣ конкурировать съ многофазными электродвигателями онъ не можетъ, такъ какъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія его сравнительно малъ *) и уголъ различія въ фазахъ между напряженіемъ и токомъ великъ. Кромѣ того, испытанія, сдѣланныя надъ двигателемъ малой мощности (4 HP), необходимо провѣрить на большихъ электродвигателяхъ.

Тѣмъ не менѣе электродвигатель Гейланда можетъ вполнѣ замѣнить многофазные электродвигатели въ тѣхъ случаяхъ, когда системѣ однофазнаго перемѣннаго тока, въ виду большаго удобства ея для освѣщенія, отдается предпочтеніе. Равнымъ образомъ и для электрическихъ трамваевъ двигатель этотъ гораздо удобнѣе многофазныхъ, такъ какъ требуетъ лишь двухъ проводовъ.

Изъ всего сказаннаго ясно, что система однофазнаго перемѣннаго тока въ борьбѣ съ многофазной системой выработала цѣлый рядъ способовъ и приспособленій, улучшающихъ качества однофазныхъ асинхроническихъ электродвигателей и облегчающихъ пользованіе ими. Въ

*) Для пробнаго двигателя въ 4 HP онъ оказался 74%.

зависимости отъ спеціальныхъ условій каждаго даннаго случая можетъ быть отдано предпочтеніе тому или иному способу или приспособленію.

Изъ приспособленій для пусканія въ ходъ однофазныхъ электродвигателей наибольшимъ распространеніемъ пользуются аппараты съ жидкостной *) емкостью, затѣмъ аппараты съ самоиндукціей. Обыкновенно двигатели включаются не нагруженными. Пусканіе въ ходъ при нагрузкѣ также можетъ производиться при помощи аппаратовъ такого типа, но расходъ тока при этомъ очень великъ—въ 3—4½ раза болѣе нормальнаго. Опытъ городовъ Франкфурта-на-Майнѣ, Кёльна и нѣкоторыхъ другихъ, къ центральнымъ электрическимъ станціямъ которыхъ примкнуто очень большое число однофазныхъ асинхроническихъ электродвигателей съ общей мощностью во много сотенъ лошад. силъ, свидѣтельствуетъ о полной пригодности такого рода приспособленій.

Для электродвигателей, долженствующихъ давать въ моментъ пусканія въ ходъ очень большой моментъ вращенія (электродвигатели для подъемныхъ **) машинъ, мостовыхъ крановъ и т. п.), такіе аппараты для пусканія въ ходъ оказываются недостаточными.

Въ этихъ случаяхъ лучше употреблять двигатели съ обмотаннымъ якоремъ и одновременно съ аппаратомъ для пусканія въ ходъ пользоваться реостатомъ, включаемымъ въ цѣпь обмотки якоря.

Приспособленія, основанныя на измѣненіи относительнаго положенія первичнаго магнитнаго потока и обмотки якоря, употребляются сравнительно рѣдко и только лишь для пусканія въ ходъ однофазныхъ электродвигателей порожнемъ. Способъ Арно особенно пригоденъ для пусканія въ ходъ порожнемъ электродвигателей большой мощности.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда условія работы электродвигателя таковы, что онъ долженъ быть въ состояніи выдерживать мгновенную очень значительную перегрузку (приведеніе въ движеніе станковъ для обработки дерева или металла и т. п.), могутъ быть съ выгодой примѣняемы способы, позволяющіе примыкать къ цѣпи однофазнаго перемѣннаго тока двухфазные или трехфазные электродвигатели. Къ сожалѣнію, о практической пригодности этихъ способовъ трудно судить за отсутствіемъ опытныхъ данныхъ.

Тамъ, гдѣ на небольшомъ пространствѣ сгруппировано значительное число электродвигателей вспомогательный токъ для пусканія ихъ въ ходъ можетъ быть производимъ по способу Феррариса и Арно въ трансформаторѣ фазъ. Въ формѣ, предложенной фирмой Ганцъ и К°, этотъ способъ очень простъ и удобенъ, такъ какъ позволяетъ въ качествѣ трансформатора фазъ пользоваться однимъ изъ самыхъ большихъ электродвигателей группы; кромѣ того, при этомъ способѣ отдѣльные электродвигатели пріобрѣтаютъ способность выдерживать перегрузку.

Предложеніе замѣнить приспособленіе для пусканія въ ходъ спеціальнымъ генераторомъ вспомогательнаго тока на центральной станціи практическаго примѣненія не нашло. Болѣе шансовъ на примѣненіе имѣетъ моноциклическая система, представляющая возможность пользоваться одновременно: для освѣщенія однофазнымъ токомъ для распредѣленія силы — трехфазнымъ.

Изъ электродвигателей однофазнаго перемѣннаго тока, приближающихся по динамическимъ качествамъ къ многофазнымъ асинхроническимъ электродвигателямъ, только двигатели Арнольда и Гейланда заслуживаютъ серьезнаго вниманія.

Простота устройства обезпечиваетъ двигателю Гейланда широкое распространеніе въ имѣющихся уже установкахъ однофазнаго перемѣннаго тока и, вѣроятно, еще большее въ будущемъ.

*) Аппараты съ жидкостной емкостью требуютъ надзора и должны быть изрѣдка очищаемы отъ кристалловъ.

**) Во Франкфуртѣ-на-М. электродвигатели для подъемныхъ машинъ держатъ постоянно включенными въ цѣпь. Для пусканія же въ ходъ подъемной машины и остановки ея пользуются механическимъ приспособленіемъ.

---

## Униполярная динамомашина постояннаго тока системы Г. Шарри.

Не смотря на то, что коэффиціентъ полезнаго дѣйствія нѣкоторыхъ динамомашинъ уже теперь на практикѣ достигаетъ 94%, нѣкоторыя улучшенія въ этомъ смыслѣ оказываются возможными, чему можетъ служить примѣромъ описываемая здѣсь машина системы Шарри. При постройкѣ ея имѣлось въ виду, кромѣ увеличенія полезнаго дѣйствія, достигнуть возможнаго уменьшенія вѣса мѣди и другихъ матеріаловъ, входящихъ въ составъ машины. Въ этомъ отношеніи машина Шарри оставила далеко позади всѣ построенныя до сихъ поръ динамо. Полный вѣсъ ея въ три раза меньше вѣса послѣднихъ при одинаковой силѣ. Вѣсъ ея мѣди въ обмоткахъ уменьшенъ въ 5 разъ. Машина Шарри дающая 40 киловаттъ, развиваетъ до 56 ваттъ на каждый килограммъ полнаго вѣса и 1300 ваттъ на килограммъ мѣди. Тогда какъ новѣйшія динамо даютъ только 18—20 ваттъ на килограммъ полнаго вѣса и 170 ваттъ на килограммъ мѣди.

Кромѣ этого важно то, что машина Шарри униполярная и что, не смотря на это, можетъ давать по желанію большую и малую электродвижущую силу. Поэтому машина Шарри пригодна и въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ до сихъ подъ употреблялись единственно двухъ- и многополюсныя машины, вслѣдствіе того, что униполярныя машины обладаютъ большимъ полезнымъ дѣйствіемъ лишь при слабыхъ потенціалахъ.

Машина Шарри, какъ и другія униполярныя, не имѣетъ гистерезиса и самоиндукціи, а слѣдовательно не имѣетъ и соотвѣтственныхъ потерь. Если прибавить къ этому, что потеря отъ сопротивленія обмотки сравнительно мала вслѣдствіе хорошей утилизаціи матеріала, то станетъ ясно, что коэффиціентъ полезнаго дѣйствія этой динамо очень великъ. Какъ видно изъ предыдущаго описанія, при постройкѣ машины Шарри постоянно имѣлось въ виду достигнуть наибольшей силы при наименьшей тратѣ матеріаловъ. Для такой цѣли нужно было строго соблюсти слѣдующія условія:

1) элементъ обмотки долженъ пересѣкать линіи ихъ перпендикулярно къ ихъ направленію, чтобы индукція была наибольшая;

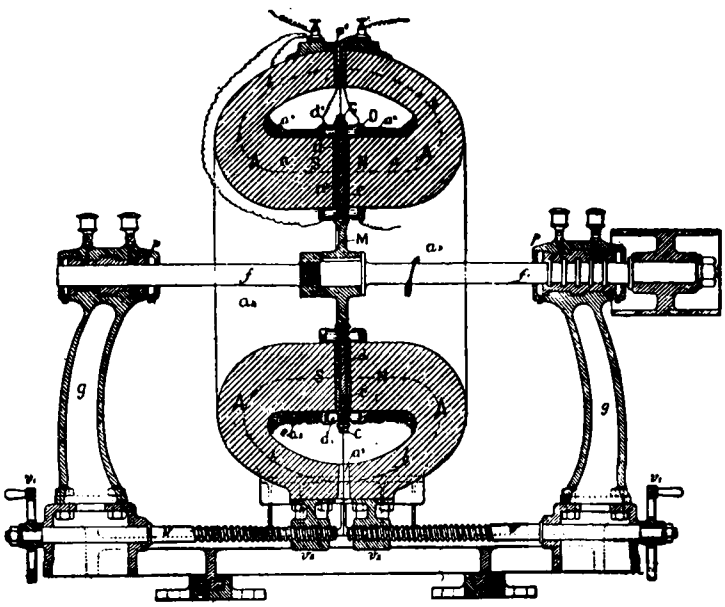
2) уменьшить въ обмоткѣ якоря количество проводниковъ, служащихъ единственно для соединенія, сравнительно съ тѣми, которые служатъ непосредственно для индукціи;

3) уменьшить насколько возможно длину магнитной цѣпи, въ особенности воздушнаго промежутка;

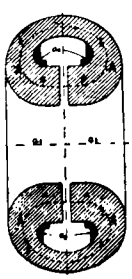
4) уменьшить до минимума потери отъ тренія, гистерезиса, токовъ Фуко, сопротивленія проводниковъ и т. п.;

5) конструкція машины должна дозволять большую скорость вращенія.

Эти соображенія привели къ постройкѣ машины униполярной, постояннаго тока и съ якоремъ формы диска, очень легкаго и вращающагося въ очень узкомъ пространствѣ между электромагнитами. Якорь пересѣкается однороднымъ магнитнымъ полемъ большой силы. Воздушный промежутокъ заключенъ между двумя полюсами N и S электромагнитовъ (фиг. 37 и 38) съ равными и параллельными концами формы кольца.



Фиг. 37.



Фиг. 38.

Якорь, вращающійся между ними, представляетъ изъ себя дискъ, образованный проводниками, идущими по радіусамъ. Соединеніе этихъ проводниковъ послѣдовательно для сложенія ихъ электродвижущихъ силъ во время вращенія производится помощью неподвижныхъ проводниковъ. Въ общемъ получается непрерывная зигзагообразная цѣпь, какъ показано на фиг. 39.

Вотъ нѣкоторыя данныя, относящіяся къ описываемому типу машинъ, мощностью въ 40 киловаттъ при 185 амперахъ и 220 вольтъ, и при числѣ оборотовъ 1800 въ минуту; предполагается, что машина шунтовая.

Вѣсъ машины съ основаніемъ—710 килограммовъ. Вѣсъ мѣди въ индукторѣ—25 кгр.

Мощность въ ваттахъ на килограммъ полнаго вѣса—56,3 ваттъ. Мощность на килограммъ мѣди—1300 ваттъ.

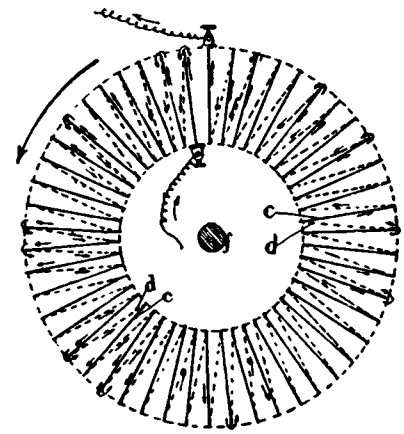
Въ этой динамо арматура сдѣлана почти исключительно изъ желѣзныхъ проводниковъ, мѣди только до 5 килограммовъ. Число амперъ-оборотовъ, необходимыхъ для возбужденія—6100.

Мощность въ ваттахъ, затрачиваемая на возбужденіе—500 ваттъ. Длина магнитной цѣпи—62 сантиметра. Длина воздушнаго промежутка—0,45 сантим.

Размѣры машины:

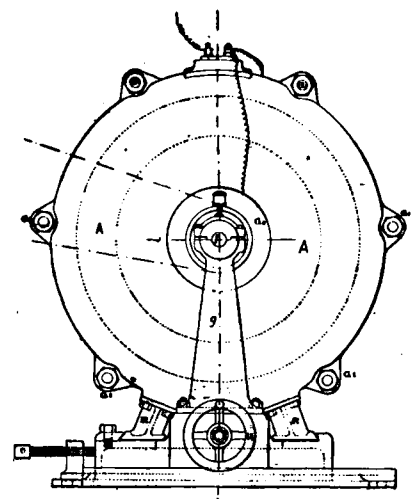
Длина—0,98 метра; ширина—0,80 м.; высота—0,90 м.

Эти данныя относятся къ случаю употребленія электромагнита формы, указанной на фиг. 38. Фиг. 37 и



Фиг. 39.

40 представляютъ устройство электромагнита другой формы, которая, позволяя болѣе удобную навивку обмотки, дѣлаетъ электромагнитъ болѣе громоздкимъ, тяжелымъ и, слѣдовательно, менѣе выгоднымъ. При такой формѣ полный вѣсъ будетъ 890 килограммовъ вмѣсто 710.



Фиг. 40.

*Электромагнитъ.* Электромагнитъ состоитъ изъ двухъ симметричныхъ частей AA (фиг. 37 и 40) литой стали, соединенныхъ между собой болтами $a_1$. Каждая часть A имѣетъ цилиндрическій выступъ или сердечникъ *a*, на который прямо и наматывается обмотка электромагнита, отдѣляемая отъ сердечника достаточнымъ слоемъ изолирующаго вещества.

Магнитная цѣпь замыкается двумя кривыми частями *bb* (фиг. 37). Кривая форма ихъ болѣе укорачиваетъ длину магнитной цѣпи, чѣмъ при загибѣ подъ прямымъ угломъ, какъ это обыкновенно дѣлается.

Другое устройство электромагнита, показанное въ разрѣзѣ на фиг. 38, еще болѣе укорачиваетъ магнитную цѣпь; цилиндрическая часть для навивки обмотки почти совсѣмъ устранена и послѣдняя наматывается въ выемкѣ, образуемой кривой частью. Этотъ электромагнитъ значительно легче и занимаетъ меньше мѣста.

Въ обоихъ случаяхъ куски А имѣютъ такую форму, чтобы сѣченіе для провода силового потока было постояннымъ на всемъ протяженіи магнитной цѣпи, указанной на фиг. 37 и 38 пунктиромъ.

Воздушный промежутокъ заключенъ между двумя параллельными плоскостями полюсовъ электромагнита; въ этомъ промежуткѣ и помѣщены проводники обмотки якоря, какъ подвижные, такъ и неподвижные.

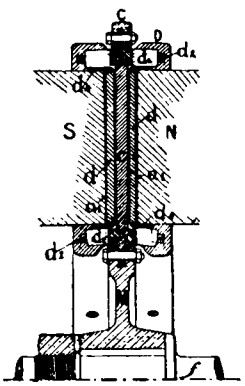
Въ каждомъ кускѣ А выточено центральное отверстіе $a_4$, діаметромъ равное половинѣ внѣшняго діаметра сердечника необходимое для провода вала; оно облегчаетъ также охлажденіе машины, а его большой діаметръ сравнительно съ діаметромъ вала дѣлаетъ невозможнымъ образованіе въ послѣднемъ сколько нибудь значительной утечки магнитныхъ силъ.

Какъ видно изъ описанія, обмотка $a_2$ электромагнита со всѣхъ сторонъ окружена желѣзомъ, что уменьшаетъ потерю линій силъ въ пространство. Кронштейны $g$ вала удалены отъ электромагнита для уменьшенія отклоненія линій силъ.

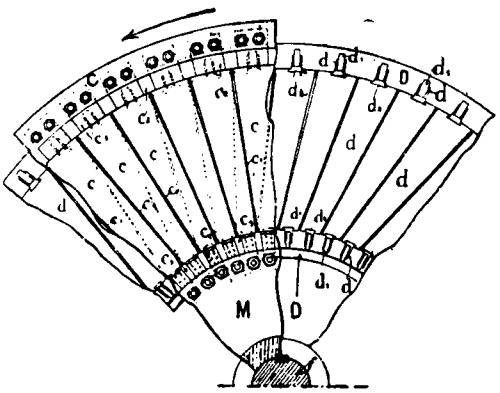
Электромагнитъ поддерживается на опорахъ $m$, которыя ходятъ въ пазахъ, такъ что обѣ части А электромагнита (фиг. 37 и 40) можно передвигать помощью безконечнаго винта $v$ и маховика $v_1$; винтъ ходитъ въ гайкѣ $v_2$, прикрѣпленной къ электромагниту. Эта гайка и опоры $m$ сдѣланы изъ діамагнитнаго металла для избѣжанія отвѣтвленія магнитнаго потока черезъ цоколь машины.

Наконецъ, воздушныя отверстія $a_5$ обезпечиваютъ вентиляцію обмотки: воздухъ входитъ въ отверстіе $a_4$ и, проходя черезъ воздушный промежутокъ, уходитъ въ отверстія $a_5$; одно изъ этихъ послѣднихъ необходимо также для вывода проводниковъ, соединяющихъ обмотку съ внѣшней цѣпью.

Понятно, что динамо можетъ быть серіесъ, шунтъ или компаундъ.




Фиг. 41.




Фиг. 42.

Вычисленіе показываетъ, что при электромагнитѣ изъ мягкой стали, доводя индукцію въ сердечникахъ $a$ до 16000 единицъ, можно достигнуть въ воздушномъ промежуткѣ напряженія магнитнаго поля въ 13100 единицъ, причемъ длина воздушнаго промежутка не болѣе 4,5 миллиметровъ, и для этого, при формѣ электромагнита, указанной на фиг. 38, достаточно 6100 амперъ-витковъ. Столь малое число объясняется узкимъ воздушнымъ промежуткомъ, малой длиной магнитной цѣпи, которая не превосходитъ 62 сантиметровъ, и малой утечкой магнитнаго потока.

Съ точки зрѣнія постройки описываемая машина представляетъ не меньшія преимущества: каждая часть А легко отливается и можетъ быть совершенно закончена на токарномъ станкѣ.

*Якорь.* Якорь состоитъ изъ трехъ дисковъ, или, вѣрнѣе, колецъ изъ проводниковъ, расположенныхъ параллельно другъ другу въ междужелѣзномъ пространствѣ. Кольца проводниковъ $d$ (фиг. 41 и 42) неподвижны и наложены на плоскость полюсовъ, отдѣляясь отъ послѣднихъ возможно тонкой изолирующей прокладкой. Проводники $c$ подвижные и служатъ непосредственно для индукціи, другіе же лишь для соединенія ихъ послѣдовательно. Нижніе концы подвижныхъ проводниковъ $c$ скрѣплены съ окружностью ступицы М, насаженной на валъ и изолированы, а верхніе съ ободомъ С. Муфта и ободъ сдѣланы изъ немагнитнаго металла.

Проводники изолированы другъ отъ друга по всей длинѣ воздушными промежутками $c_1$ (фиг. 42), которые въ то же время облегчаютъ охлажденіе; однако эти промежутки сдѣланы возможно узкими, какъ для того, чтобы лучше утилизировать мѣсто, такъ и для уменьшенія токовъ Фуко въ случаѣ, если проводники сдѣланы изъ магнитнаго металла вмѣсто мѣди. Вслѣдствіе этихъ соображеній проводникамъ придана слегка трапецоидальная форма, сѣченіе же ихъ прямоугольное; для вычисленія плотности тока, слѣдуетъ брать ихъ среднее сѣченіе.

Поверхность проводниковъ совершенно голая, что обезпечиваетъ охлажденіе и позволяетъ окончить ихъ обдѣлку на токарномъ станкѣ.

Извѣстно, что въ случаѣ послѣдовательнаго соединенія проводниковъ арматуры, электродвижущая сила, образующаяся въ ней, пропорціональна общей длинѣ проводниковъ. Если зададимъ внѣшній радіусъ R диска, представляющаго собою якорь, то является вопросъ, каковъ долженъ быть внутренній радіусъ $r$, чтобы общая длина проводниковъ, а слѣдовательно и электродвижущая сила, была наибольшая? Пусть $l$ есть длина каждаго проводника, $n$ ихъ число, тогда общая ихъ длина L будетъ

$$L = l \times n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

и

$$l = R - r.$$

Зададимъ также разстояніе $e$ между срединами проводниковъ по окружности радіуса $r$; тогда ясно, что

$$n = \frac{2\pi r}{e}.$$

Подставляя въ равенство (1), получимъ:

$$L = (R - v) \times \frac{2\pi r}{e} = (Rr - r^2)\frac{2\pi}{e}.$$

Легко видѣть, что maximum L будетъ при

$$r = \frac{R}{2}.$$

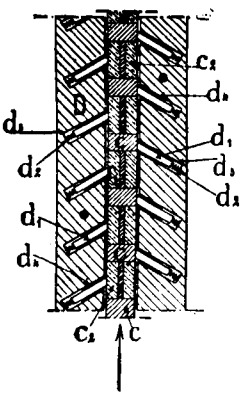
Вслѣдствіе этихъ-то соображеній діаметръ центральнаго отверстія $a_4$ и сдѣланъ въ половину меньше внѣшняго діаметра электромагнита, какъ это было указано раньше. Неподвижные проводники служатъ для соединенія подвижныхъ въ одну общую цѣпь. Для этого каждый изъ нихъ помѣщенъ не по радіусамъ, а нѣсколько наклонно, чтобы соединить конецъ какого нибудь проводника на внѣшней окружности съ концомъ непосредственно слѣдующаго за нимъ проводника на внутренней. Фиг. 39 ясно показываетъ способъ соединенія. Токъ въ неподвижныхъ проводникахъ идетъ по направленію противоположному, нежели въ подвижныхъ. Чтобы получить токъ во внѣшней цѣпи, достаточно соединить ее съ двумя концами одного изъ неподвижныхъ проводниковъ, уничтоживъ, однако, послѣдній въ этомъ мѣстѣ.

Каждый конецъ подвижныхъ проводниковъ снабженъ щеткой $d_1$, видъ которой показанъ на фиг. 41, 42 и 43. Щетки прижимаются къ подвижнымъ проводникамъ пружинками $d_2$, находящимися въ гнѣздахъ $d_3$ кольца D изъ изолирующаго матеріала; кольцо же D прикрѣплено къ электромагниту. Пружинки можно регулировать для избѣжанія излишняго тренія. Соединеніе щетокъ съ соотвѣтствующими неподвижными проводниками производится помощью полосокъ $d_4$ изъ красной мѣди.

Удобнѣе дать щеткамъ форму слегка въ видѣ дуги

круга, чтобы обезпечить контактъ по ней изъ скользящей поверхности на случай изнашиванія.

Внѣшніе концы подвижныхъ проводниковъ выступаютъ изъ междужелѣзнаго пространства и здѣсь производится ихъ контактъ со щетками. Въ мѣстѣ контакта проводники утолщаются на случай изнашиванія. Если проводники якоря сдѣланы изъ магнитнаго металла (а это выгоднѣе), то для лучшаго контакта на концы ихъ напаиваются мѣдныя пластинки $C_2$ (фиг. 43), а между ними изолирующія C. Сами же проводники утолщаются.



Фиг. 43.

Такъ какъ ширина изолирующихъ пластинокъ C болѣе ширины щетокъ, то въ моментъ прохода щетокъ черезъ первыя токъ прерывается. Это обстоятельство объясняетъ, почему устроено два кольца неподвижныхъ проводниковъ: одно изъ нихъ повернуто относительно другого на такой уголъ, что въ то время, какъ щетки одного изъ нихъ касаются изолирующихъ прокладокъ, щетки другого воспринимаютъ токъ отъ мѣдныхъ пластинокъ $C_2$. Такимъ образомъ токъ, индуктируемый въ подвижныхъ проводникахъ, то раздѣляется на два, въ оба диска, то идетъ только въ одинъ изъ этихъ послѣднихъ. Если неподвижныя кольца соединить параллельно, то во внѣшней цѣпи получится токъ постоянной силы.

При такомъ устройствѣ во внѣшней цѣпи не можетъ образоваться искръ въ контактахъ вслѣдствіе самоиндукціи. Кромѣ того, у всѣхъ трехъ дисковъ якоря вмѣстѣ коэффиціентъ самоиндукціи равенъ нулю.

Можетъ показаться неудобнымъ употребленіе столь большого числа щетокъ, которыхъ въ четыре раза больше числа подвижныхъ проводниковъ. Но въ дѣйствительности неудобства нѣтъ: небольшіе размѣры щетокъ не дѣлаютъ ощутительною затрату на матеріалъ; устройство ихъ очень простое; постановка на мѣсто и разборка также, благодаря удобному раздвиганію электромагнитовъ; наконецъ, треніе происходитъ по плоской поверхности и, слѣдовательно, контактъ обезпеченъ лучше, нежели при употребленіи обыкновенныхъ цилиндрическихъ коллекторовъ.

Проводники якоря выгоднѣе дѣлать желѣзными на томъ основаніи, что желѣзо будетъ играть двойную роль электрическаго и магнитнаго проводника, и воздушный промежутокъ уменьшается на толщину мѣдной обмотки. Такъ въ описываемой машинѣ воздушный промежутокъ всего 4,5 миллиметра, тогда какъ при мѣдной обмоткѣ якоря онъ увеличивается на 3,5 миллиметра, всего, слѣдовательно, 8 миллиметровъ.

Какъ было сказано, проводники якоря отдѣлены другъ отъ друга воздушными промежутками; поэтому, какъ только проводники сдѣланы изъ магнитнаго металла, однородность поля слегка нарушается, слѣдствіемъ чего является образованіе паразитныхъ токовъ. Но послѣдніе не могутъ быть достаточно сильными, въ виду того, что воздушные промежутки очень узки: при разстояніи въ нѣсколько десятыхъ миллиметра между неподвижными проводниками разность потенціаловъ между ними никогда не превосходитъ нѣсколько вольтъ. Между подвижными же проводниками эта разность потенціаловъ равняется въ нѣкоторые моменты разности потенціаловъ на зажимахъ.

При употребленіи мѣди въ якорѣ послѣдній стоитъ дороже, но выигрываетъ въ легкости, и магнитное поле получается совершенно однородное, слѣдовательно нѣтъ и токовъ Фуко.

Наконецъ, въ виду легкости якоря описываемой динамо, діаметръ, а слѣдовательно и вѣсъ вала сравнительно малъ, что позволяетъ осуществить большую скорость вращенія. Для этой цѣли подшипники вала имѣютъ достаточную длину. Одна изъ цапфъ $f_1$ вала обязательно должна имѣть кольцевые выступы для избѣжанія продольной игры вала; въ противномъ случаѣ можно сильно повредить якорь.

Ноги подшипниковъ соединены болтами съ фундаментной доской динамо. Ноги и фундаментная доска сдѣланы сравнительно очень легкими. Цоколь служитъ также скользящей поверхностью для раздвиганія электромагнитовъ.

(L'Électricien).

---

# ОБЗОРЪ.

**Объ устройствѣ громоотводовъ.**— Въ отчетѣ комиссіи по устройству громоотводовъ упоминается о предположеніи Финдейзена изъ Штутгарта объ устройствѣ громоотвода помощью имѣющихся на каждомъ домѣ желѣзныхъ частей, какъ то: металлическая покрышка конька, водосточные желоба и пр. простымъ соединеніемъ ихъ между собою. Это предложеніе заслуживаетъ полнаго вниманія, такъ какъ требуетъ весьма мало расхода и слѣдовательно можетъ быть примѣнено и въ деревняхъ. Весь вопросъ только въ томъ, насколько достигается цѣль при подобномъ устройствѣ. По теоретическимъ соображеніямъ и статистическимъ даннымъ достиженіе надлежащей цѣли вполнѣ вѣроятно.

Такъ, напр., старые заржавленные громоотводы, состоящіе изъ отдѣльныхъ частей, скрѣпленныхъ между собою болтами, оказывались вполнѣ дѣйствительными и отводили въ землю разрядъ безъ всякаго вреда для зданія, тогда какъ обыкновенно полагаютъ, что подобный громоотводъ скорѣе вреденъ, такъ какъ его сопротивленіе весьма велико *). Здѣсь дѣйствіе громоотвода надо объяснить себѣ тѣмъ, что въ моментъ удара молніи сопротивленіе его было много меньше, что слѣдуетъ приписать дѣйствію электрическихъ колебаній на сопротивленіе на прерывчатый проводникъ (напр., металлическій порошокъ въ опытахъ Бранли). Слѣдовательно, старый желѣзный громоотводъ изъ отдѣльныхъ, плохо соединенныхъ между собою частей становится хорошимъ проводникомъ въ случаѣ, если поблизости его происходитъ колебательный разрядъ или же въ случаѣ, если онъ самъ будетъ заряженъ до высокаго потенціала (напр. черезъ вліяніе). Такъ какъ непосредственно передъ молніей будетъ происходить подобное заряженіе и такъ какъ молнія сама по себѣ есть навѣрное не что иное, какъ колебательный разрядъ, то эти колебательные разряды, происходящіе поблизости, а также и высокій потенціалъ заряда громоотвода, дѣйствуя совмѣстно, въ значительной мѣрѣ уменьшатъ сопротивленіе такого громоотвода.

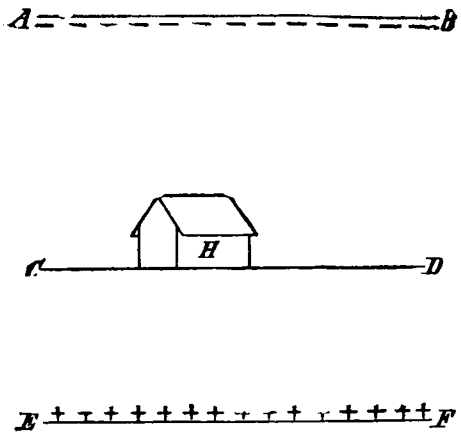
Все это примѣнимо и къ системѣ, предложенной Финдейзеномъ, но такъ какъ, кромѣ того, всѣ упомянутыя желѣзныя части расположены обыкновенно симметрично на домахъ, то получится еще болѣе совершенная защита въ видѣ электрическаго экрана.

Здѣсь же будетъ умѣстно указать на дешевое устройство громоотвода, предлагаемое Кохомъ, гдѣ онъ основывается на разсмотрѣніи сущности назначенія и функціонированія громоотвода.

Пусть (фиг. 44) AB заряженное облако, EF грунтовая вода, противуположно заряженная черезъ вліяніе и пусть на поверхности земли CD находится зданіе H, которое требуется защитить. По существующему обычаю устраиваютъ одинъ или два громоотвода, кончающіеся наверху 2-мя остріями, а внизу двумя пластинками, доведенными до грунтовыхъ водъ, достиженіе которыхъ часто сопряжено съ значительными расхода-

*) По опытамъ Коза громоотводъ былъ сдѣланъ изъ желѣза четыреугольнаго поперечнаго сѣченія (156 кв. мм. въ сѣченіи), отдѣльныя части были скрѣплены болтами между собой. Сопротивленія колебались отъ 100.000 до 300.000 Ω.

ми. Устроивъ громоотводъ такимъ образомъ, предполагаютъ, что защита зданія достигнута. Но спрашивается: отчего, если кверху достаточно 2-хъ острій, и внизу громоотводъ не кончается также двумя остріями, а нужно его непремѣнно довести до грунтовыхъ водъ?

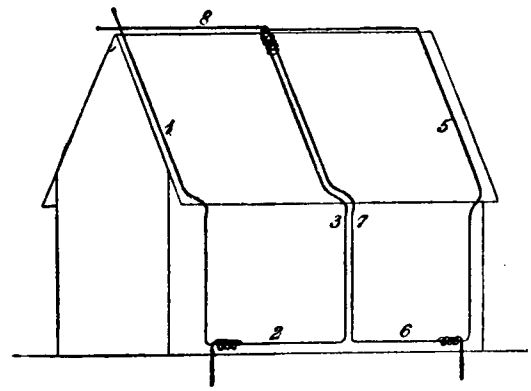



Фиг. 44.

Подобное нынѣ еще практикуемое устройство громоотвода имѣетъ, видимо, своею цѣлью нейтрализацію заряда облака дѣйствіемъ острія, что, какъ извѣстно, на самомъ дѣлѣ не удается.

Но это и не есть задача громоотвода. Отъ него только и требуется, чтобы не допустить могущій произойти разрядъ внутрь зданія. Этому условію можно, безспорно, лучше всего удовлетворить экраннымъ устройствомъ. Для подобнаго же устройства вполнѣ достаточно обвести проволоку вдоль по коньку крышки, затѣмъ по бокамъ и развѣ еще спустить ее по серединѣ крыши. Въ случаѣ удара молніи въ защищенный такимъ образомъ домъ, внутри этого дома не могла бы имѣть мѣсто большая разность потенціаловъ, а слѣдовательно и не послѣдовало бы разряда; конечно, здѣсь мы полагаемъ, что всѣ входящіе снаружи во внутрь дома проводники (какъ-то: водопроводныя и газовыя трубы и пр.) сообщены съ громоотводомъ, а телефонныя, телеграфныя и др. подобные провода снабжены надлежащими предохранительными приборами. Для облегченіи разряда защитительныхъ проводовъ достаточно отвести нѣсколько металлическихъ проводовъ въ землю.

Чтобы устроить подобный громоотводъ наиболѣе дешевымъ образомъ, для него можно брать обыкновенную оцинкованную телеграфную проволоку, около 5 мм. въ діаметрѣ и 19,6 кв. мм. площади поперечнаго сѣченія (фиг. 45); если громоотводъ, напримѣръ, будетъ состоять изъ 10 такихъ проволокъ, то онѣ дадутъ общую площадь поперечнаго сѣченія въ 19,6 кв. мм., что соотвѣтствуетъ приблизительно одному громоотводу въ 16 мм. въ діаметрѣ. Но такъ какъ при колебательныхъ разрядахъ электричество движется по поверхности, то предлагаемый громоотводъ даетъ еще лучшій результатъ, такъ какъ общая поверхность его (10 проводовъ) превосходитъ почти втрое поверхность 16 мм. провода. Платиновыя или позолоченныя острія становятся здѣсь совершенно ненужными. Да и странно вообще, что все еще острія изъ платины считаютъ необходимой принадлежностью хорошаго громоотвода, тогда какъ изслѣдованія, сдѣланныя Прехтомъ надъ истеченіемъ электричества съ острія, показали, что истеченіе это совершается крайне медленно, да и при частой мѣнѣ знака у заряда грозовой тучи остріе не можетъ слѣдовать этимъ быстрымъ измѣненіямъ. Эти провода на стѣнахъ зданія достаточно закрѣпить оцинкованными скобочками и развѣ только на крышѣ, во избѣжаніе порчи, необходимо будетъ провести ихъ на особыхъ стоечкахъ.




Фиг. 45.

Желѣзо, подверженное атмосферному вліянію, какъ извѣстно, ржавѣетъ въ мѣстахъ пайки, поэтому желательно сдѣлать всю проводку цѣльною (какъ это показано на чертежѣ). Въ мѣстахъ, гдѣ провода сходятся, ихъ можно обвить кускомъ той же оцинкованной проволоки и замазать смолой для предохраненія отъ попаденія дождевой воды. Для отвода заряда въ землю можно устроить, какъ это показано на фиг. 45, провода изъ болѣе толстой проволоки (по причинѣ ржавленія). Стоимость матеріала для зданія въ 200 кв. метровъ площади и 20 метровъ высоты не превзойдетъ 8—10 рублей. На чертежѣ показано подобное устройство для одной стороны зданія, для другой стороны оно совершенно подобно.

# ОПЕЧАТКИ

## въ статьѣ А. А. Воронова въ № 6 и 8.

№ 6 стр. 83 1 строка снизу: у интеграла нижній предѣлъ равенъ $-\frac{\gamma}{2}$, а не $\frac{\gamma}{2}$, какъ было напечатано.

„ „ 85 10 „ „ въ формулѣ для $У_3$ нужно $\phi_0$, а не $\phi_9$.

„ „ 86 19 „ сверху: не нужно $OX$.

№ 8 „ 114 2 „ снизу: вмѣсто $E$ слѣдуетъ $\varepsilon$.

Редакторъ А. И. Смирновъ.