

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Ferdinand Pietsch

O přenášení energie do dálky. [II.]

*Časopis pro pěstování matematiky a fysiky*, Vol. 40 (1911), No. 3, 385--398

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123221>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1911

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

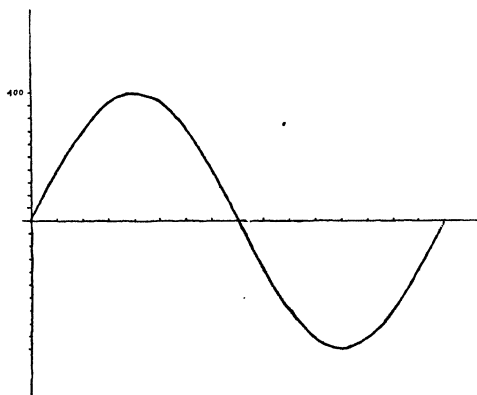
## O přenášení energie do dálky.

Napsal prof. Dr. F. Pietsch.

(Pokračování.)

### Proudy střídavé jedno i vícefázové.

Pod jménem proudu střídavého rozumíme proud, jehož směr stále se mění; změna ta však neděje se náhle, nýbrž pozvolna. Naznačíme-li si graficky změnu napjetí nanášejíce čas jako úsečku a napjetí jako pořadnici, pak vidíme na křivce obr. 1., jak se napjetí mění nabývající od nuly hodnoty 38,



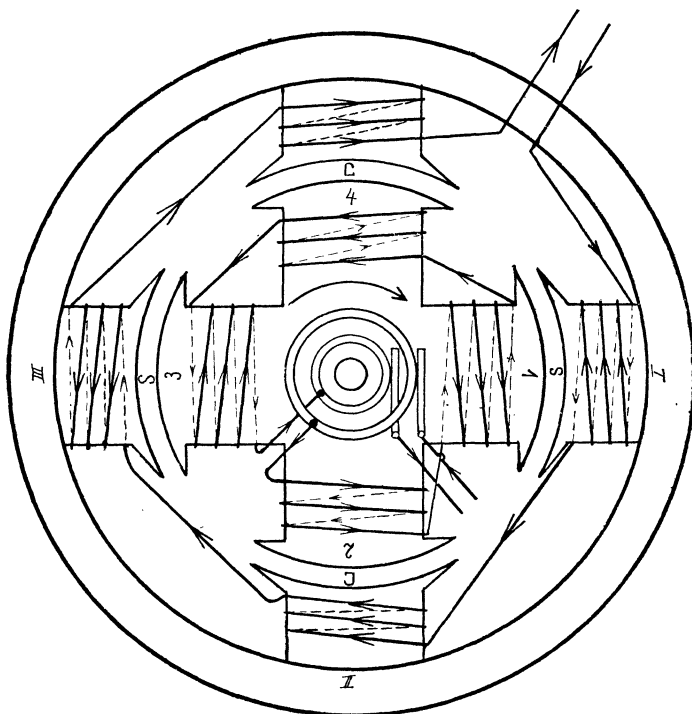
Obr. 1.

70, 92, 100, 92, 70, 38 o Volt; pak obrátí se směr proudu a napjetí roste v negativní hodnotě — 38, — 70, — 92, — 100, — 92, — 38, 0 Volt. Dosahuje tedy dvakrát nejvyšší hodnoty při opačném směru.

Tyto periodické změny napjetí a tudíž také periodické změny intensity v proudovodu opakují se ku př. 40krát za vteřinu; pak mluvíme o frekvenci proudu rovné 40ti.

Schematický obr. 2. nám vysvětlí vznik střídavého proudu. Na vnějším kruhu vidíme elektromagnety, z nichž dva sousední následkem opačně vedeného proudu mají různojmennou polaritu.

Elektromagnety napájeny bývají stejnosměrným proudem přicházejícím z dynama na téže ose se otáčejícího. Točí-li se vnitřní cívky směrem naznačeným, tu se bude indukovati ve všech proud, ovšem že v sousedních cívkách bude mít směr opačný, neboť jedna se blíží pólu severnímu, druhá jižnímu. Blíží-li se cívka 1. pólu severnímu, tu se v ní vzbudí dle pravidla Lenzova proud



Obr. 2

takového směru, aby hleděl přiblížení zabránit; tedy indukovaný proud bude mít směr naznačený, buď stejnojmenný pól severní. Mezitím blíží se cívka 2. pólu jižnímu i vzniká z týchž důvodů proud směru opačného, hledící vzbudit magnetismus jižní. Totéž děje se v cívce 3. a 4. Následkem však spojení cívek, proudy v cívkách sice směru protivného sečítají se a odvádějí se do kroužků sběracích, vedle sebe na ose umístěných,

z nichž kartáčky je vedou do vnějšího proudovodu. Nalézají-li se cívky právě před magnety, tu nastává obrat proudu, neboť cívka 1, jež se pólu severnímu blíží, počne se vzdalovati a tu dle pravidla Lenzova musí se indukovati proud takového směru, aby vzdalování zabraňoval, musí tedy jíti opačným směrem, buďe pól jižní. To bude tak dlouho trvati, dokud se nedosáhne pólu jižního, pak se zase obrátí proud na původní směr. Totéž se děje v každé cívce. Bude tedy ve vnějším proudovodu probíhati proud, jenž při jednom otočení změní směr čtyřikráte. Mezi póly dosahuje proud intensity maximální. Při jednom otočení uskuteční se dvě úplné periodické změny proudu. Změny ty dají se znázorniti dvěma sinusoidami. Vykona-li stroj 1500 obrátek za minutu čili 25 za vteřinu, bude vycházeti proud o frekvenci = 50.

Dynama na střídavý proud mívají více elektromagnetů, pravidelně značný počet, kol nichž však musí probíhati stejný počet cívek; pak vychází se sběracích kroužků proud střídavý, jednofázový.

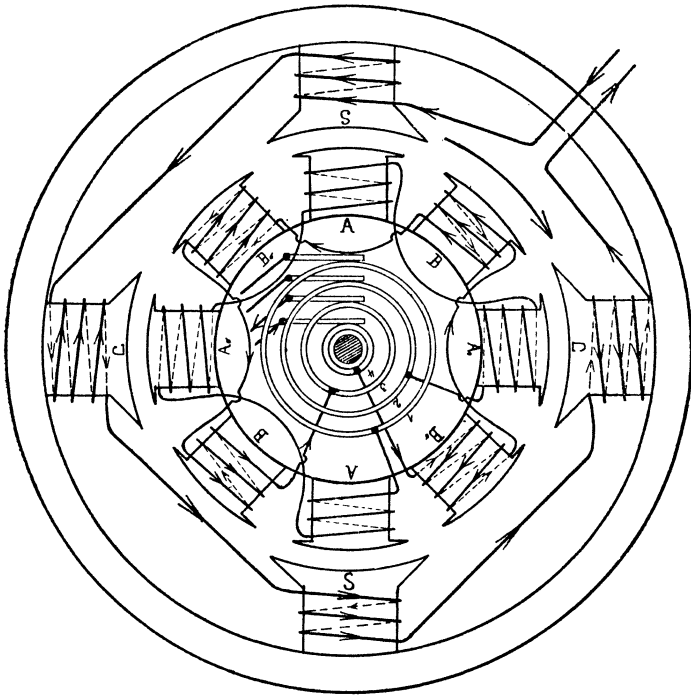
Dle křivky, na obr. 1. naznačené, mění se napjetí střídavého proudu. Podobně mění se také intensita proudu. Nastává však při tom úkaz nový; intensita pokulhává totiž stále za napjetím, dosahujíc o něco později než napjetí největší hodnoty. U stejnosměrného proudu záleží intensita jen na odporu Ohmové, jenž závisí na rozměrech a materiálu vodiče. U střídavého se vyskytuje ještě odpor induktivní mimo odpor Ohmův. Vedeme-li cívkou proud střídavý, nastává následkem změn proudových samoindukce, vysílající proud opačného směru, hledící zabrániti změnám proudu. Proto dosáhne intensita vždy o něco později oné hodnoty, jež odpovídá právě panujícímu napjetí. Má-li cívka jádro z měkkého železa, pak je samoindukce silnější a zpoždění intensity větší.

Má-li proudovod značnou kapacitu a nepatrnou samoindukci, může nastati opačný případ. Intensita napjetí předbíhá.

### **Proud dvoufázový.**

Vznik tohoto proudu pochopíme ze schematického nákresu č. 3. Také zde máme na vnějším kruhu 4 elektromagnety stejnosměrným proudem napájené, mezi nimiž se pohybuje tentokráte

8 cívek. Čtyři z nich  $AA_0AA_0$ , jsou spojeny v jediný celek a koncové body připojeny jsou ke sběracím kroužkům 1, 2.; Druhé čtyři cívky  $BB_0BB_0$ , jsou opět spojeny mezi sebou a jich proudovod připojen na sběrací kroužky 3, 4. Kartáčky sběracími se odvádí vznikající proud do vnějšího proudovodu. Budou zde tedy vznikat dva samostatné proudy střídavé. Dle polohy cívek

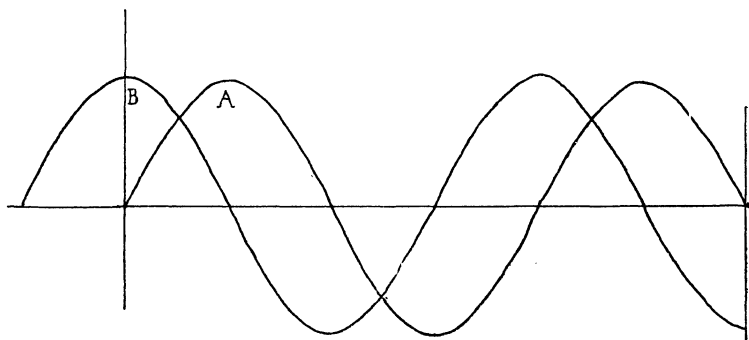


Obr. 3.

na obraze mají právě cívky  $BB_0BB_0$  maximální proud. Cívky  $AA_0AA_0$  právě mĕjí póly, tedy u nich proud právě obrací svůj směr a začíná narůstat, kdežto proudu v  $BB_0BB_0$  začíná ubývat. Vznikají tedy dva proudy střídavé za sebou opožděné, neboť cívky  $B$  dosáhnou později teprve téže relativní polohy k magnetům. Kdybychom si znázornili na nákrese ony proudy,

tu bychom viděli, že tak zvané zpoždění fázové obnáší  $90^\circ$  ( $\sin 0 = 0$ ,  $\sin 90^\circ = \max$ ), obr. 4.

Z kartáčků vycházejí tedy dva proudy po čtyřech drátech o téže frekvenci, ale různé fási.



Obr. 4.

### Proud třífázový.

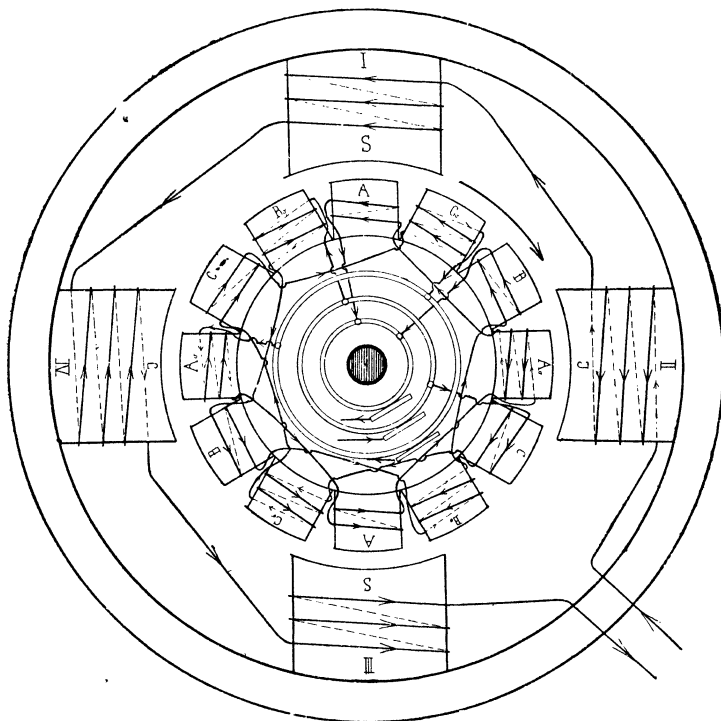
Snadno můžeme nyní přejít k proudu třífázovému. Na obraze 5. vidíme opět 4 magnety stejnoměrným proudem napájené vždy severní a jižní pól vedle sebe, kolem kterých tentokrát obíhá však 12 cívek.

Vždy 4 jsou vespolek spojeny jako na stroji jednofázovém. V každé skupině těchto cívek bude vznikat proud střídavý, jenž za jedno otočení dvě úplné změny vykoná. Vidíme však, že proudy ty střídavé, nebudou mít stejnou fási, neboť v cívce A proud právě začíná, jsa nullou, v cívkách B jest za maximem, neboť tato jest již ve  $\frac{2}{3}$  cesty mezi pólem S a J.

Cívka C jest pak již  $\frac{1}{3}$  cesty za pólem jižním, tedy ta již vůči cívce A stojící před severním pólem pokročila o  $\frac{4}{3}$  dráhy, to znamená, že proud již po maximu se obrátil a začíná narůstat v opačném směru.

Znáznorníme-li si to křivkami, tu vidíme, že hodnoty napjetí jsou dány jako  $\sin 0^\circ = 0$ ,  $\sin 120^\circ$ , a  $\sin 240^\circ$ . Na obr. 6. znázorňují nám tři sinusoidy průběh těchto tří střídavých proudů,

vznikajících v cívkách *A*, *B*, *C*. Přímkou bodem *O* jdoucí jest naznačen okamžik, který odpovídá poloze cívek na obr. 5. V cívkách *A* proud je nula, v cívkách *B* přestoupil již maximum a zmenšuje se, v cívkách *C* má směr opačný a nalezá se před

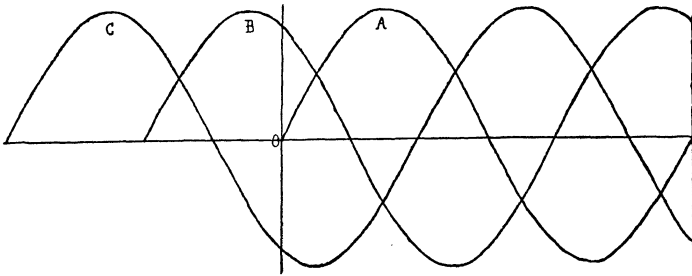


Obr. 5.

maximem. Podobně lze nalézt pro každou jinou polohu cívek velikost i směr proudu právě panujícího.

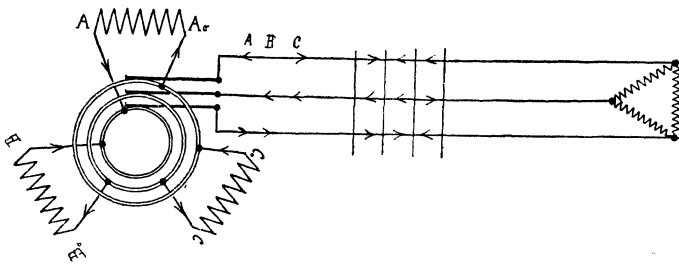
Kdybychom spojili koncové body každé skupiny cívek se dvěma sběracími kroužky vedle sebe na ose umístěnými, mohli bychom pomocí kartáčků svádět tři střídavé proudy po 6 drátech. To by ovšem nebylo výhodné, vyžadujíc mnoho materiálu na drát. —

Střídavý proud třífázový má však tu dobrou vlastnost, že dá se rozváděti po třech drátech. Hodnoty proudů v jednotlivých proudovodech  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , jsou totiž takové, že v každém okamžiku součet dvou proudů rovná se až na znaménko proudu třetímu. I jest tedy vždy třetí proud zpátečným proudem. To



Obr. 6.

vyplývá z té okolnosti, že je-li v cínce  $A$  proud dán hodnotou  $\sin \alpha$ , jest současně v cínce  $B$   $\sin (\alpha + 120)$  a v proudovodu  $C$   $\sin (\alpha + 240)$ . Součet těchto hodnot dává skutečně  $0$ . Totéž vidíme z obr. 6, kdež součet dvou pořadnic stejného směru rovná se pořadnici opačného směru.



Obr. 7.

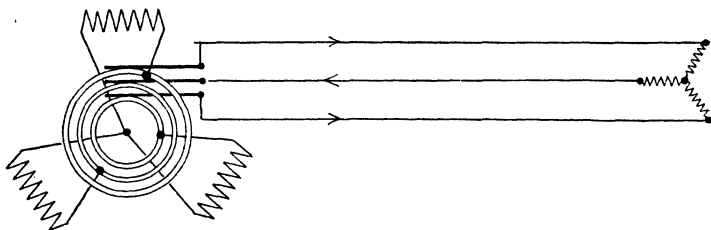
Proto lze užiti jen tří drátů, neboť v každém okamžiku jeden z drátů může sloužit za zpáteční vodič dvou zbývajících proudů.

Spojení proudovodů (skupin cívek) lze provésti buď trojúhelníkovitě nebo hvězdovitě.



Na obr. 5. jsou spojeny trojúhelníkovitě, vždy dva sousední konce proudovodů s týmž kroužkem sběracím. Přehledněji je spojení znázorněno na obr. 7, kdež proudovody *A*, *B*, *C* označené znamenají skupinu příslušných cívek z obr. 5.

Na obrázku naznačeno též, jakým směrem v jednotlivých okamžicích proudy probíhají. Na druhém konci na místě spotřeby jest také spojení trojúhelníkové. Schema 8 nám podává spojení



Obr. 8.

hvězdovité, kde jeden konec každého proudovodu *A*, *B*, *C* připojen ku třem sběracím kroužkům, kdežto zbývající tři konce spojeny v jednom bodě. Podobně na druhém konci proudovodu provedeno spojení hvězdovité.

### Motor na střídavý proud.

Vedeme-li do stroje na obr. 2. pomocí sběracích kroužků proud směrem naznačeným a nalézá-li se cívka 1 mezi pólem I. a II., tu vzbudí se v ní pól severní i bude se pohybovat k pólu jižnímu, jsouc od tohoto přitahována a od severního odpuzována; před pólem jižním by se zastavila, musíme tudíž právě, když má pól jižní, změnit směr proudu, čímž se polarita cívky 1 změní na jižní a cívka pokračuje v pohybu, jsouc nyní od jižního odpuzována a od severního III. přitahována. Totéž platí o ostatních cívkách. Musíme tedy přivádět do cívek proud střídavý, který však musí měnit směr právě v tom okamžiku, když cívky se nalézají před póly.

To však znamená, že motor musí tak rychle běžet jako generator proud střídavý vyrábějící. Vpustíme-li ku př. do cívek

proud o frekvenci 50, musí motor vykonávat 25 obrátek za vteřinu, má-li nastat v pravém okamžiku obrat proudu. Proto nazýváme takovéto motory synchronní.

Tentýž účinek by nastal, kdybychom vedli do stroje na obr. 3. naznačeného do 4 sběracích kroužků dva střídavé proudy s fází o 90° rozdílnou, nebo do stroje na obr. 5. třífázový proud střídavý.

Ale i u těchto by nastal plný účinek teprve tehdy, kdyby motor stejně rychle běžel s generátorem, neboť pak teprve by v pravém okamžiku měnily cívky svou polaritu.

To je ovšem vadou těchto motorů. Neboť je patrné, že se nemohou střídavým proudem uvést do pohybu i musí se roztáčet pomocným motorem na příslušný počet obrátek, načež se teprve zavede proud střídavý. Pak lze teprve motor zatížit. Ku rozhánění může sloužit dynamo, jež na téže ose jsou montováno dodává stejnosměrný proud elektromagnetům. Při práci nabije toto dynamo baterii akumulátorů, z kterých pak zase při roztáčení vedeme proud do dynama, jež účinkuje nyní jako motor rozhánějící motor na střídavý proud na příslušný počet obrátek.

Tato komplikace při roztáčení motoru zvyšuje cenu jeho a i jinak jest nepraktická. Proto pracovalo se k tomu, sestrojiti motor, jenž by sám od sebe se střídavým proudem roztočil a také přetížení snesl. Ziperovskému podařilo se částečně řešit tento problem sestrojením motoru s dvojdílným kommutátorem, jenž sám od sebe se roztácel. Má však vadu tu, že neobyčejně jiskří, dokud se neroztočil na správný počet obrátek střídavému proudu odpovídající.

Úplně řešiti otázku motoru na střídavý proud podařilo se Ferrarisovi a Teslovi. kteří sestrojili motor na zcela jiném principu, motor, jenž nemusí mít též počet obrátek jako generator, jemuž proto říkáme asynchronní.

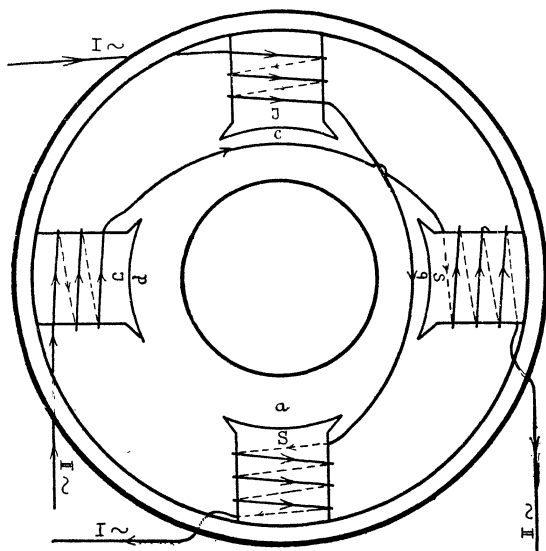
Abychom seznali základní myšlenku nového motoru, vzpomeňme na experiment, jež vidáme i na středních školách pod jménem Aragův pokus.

Pod otáčivým magnetem, spočívajícím na skleněné desce, roztáčíme desku měděnou. Brzy dostane se magnet také do pohybu, toče se týmž směrem jako deska. V desce indukují se

totiž proudy, jež hledí zachovati relativní polohu desky a magnetu a tudíž magnet se roztáčí a hledí desku dohonit.

Pokus můžeme si však myslet obrácený. Otácejme magnetem nad deskou měděnou pohyblivou, i uvede se tato také do rotace v témž smyslu.

Téhož účinku jako otáčejícím magnetem docílíme tak zv. točným polem magnetickým, jež lze vzbudit proudy střídavými nejlépe ovšem proudem třífázovým.



Obr. 13.

Znázorněme si pole pomocí dvoufázového proudu. Na obr. 9. spatřujeme čtyři elektromagnety vždy dva spolu spojené; do cívek *a c* vedeme jeden proud střídavý do cívek *b d*; druhý proud střídavý s fází o  $90^\circ$  posunutou. Cívky příslušné jsou vždy tak spojeny, že mají vůči sobě opačnou polaritu.

Pozorujme stav pólů, má-li proud I. své maximum a tudíž proud II. je právě nullou. Tu elektromagnet *a* má pól severní, protější *c* jižní, kdežto *b d* jsou bez proudu. Nyní ubývá proudu I. a narůstá proud II. v témž směru i vzniká v cívce

$d$  pól  $S$  a v  $b$  pól jižní, až za čtvrt periody jest proud I. nullou, proud II. dosáhl maxima. Z cívek  $a, c$  zmizely pól  $S, J$  a objevily se v cívkách  $b d$ . Je to tedy tak, jakoby se magnet  $\overline{ac}$  otočil o  $90^\circ$  do polohy  $\overline{bd}$ . Za další čtvrt periody se proud I. obrátil a má maximum, kdy cívky  $a c$  mají póly  $J$  a  $S$ , kdežto z cívek  $b d$  tytéž póly zmizely. Z toho tedy patrně, že skutečně stěhuje se na jedné straně pól severní z  $a$  do  $b$ , z  $c$  do  $d$  a s druhé strany pól jižní z  $c$  do  $d$  a  $b$ .

Účinek takový, jakoby magnet otáčel se rychlostí odpovídající frekvenci proudu.

Nalézá-li se mezi oněmi magnety měděný váleček, jehož osa jest kolmo na rovinu nákrešnou, tu uvede se onen váleček zrovna tak do pohybu, jako ona měděná deska při pokusu Aragově.

Silokřivky při tom stojí stále kolmo na ploše válce a postupují rychlostí odpovídající frekvenci proudu střídavého. Podobně mohli bychom mít troje páry elektromagnetů, jež bychom napájeli proudem třífázovým, čímž by povstalo točné pole, jehož silokřivky by však nebyly v každém okamžiku kolmé na plášť válce.

Chceme-li zvýšiti účinek, pak volíme železný váleček místo měděného a ovineme jej podél pláště dráty v sobě uzavřenými. Podobně místo několika elektromagnetů volíme celý prsten dráty ovinutý, jenž bude tvořiti točné pole. Do podrobných výkladů nelze se nám pouštět. Stačí, budeme-li si pamatovati, že takový motor asynchronní má dvě hlavní součásti. Jedné díme stator; do ní vede se střídavý proud, čímž budí se točné pole, v druhé části nazvané rotor se vlivem točného pole proudu indukují a tím způsobí se pohyb motoru.

Podobá se tedy asynchronní motor transformatoru, neboť do rotoru žádný proud nevedeme, nýbrž proud se v něm budí indukci.

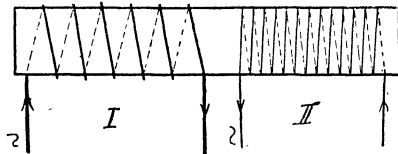
Pro asynchronní motor hodí se nejlépe proudy třífázové a o jeho zdokonalení největších zásluh si získal Dobrovolský.

### Transformace proudu.

Transformator má za účel energii elektrickou, kterou do něho vedeme, podati v jiné formě. Takovou transformaci vidíme ku př. u Rhumkorffa. Do primární cívky vedeme ku př. proud v 10 Amp. při 20 Voltech svorkového napjetí a ze sekundární cívky tenkými dráhy ovinuté, vychází pak proud velice slabounký, jen kol tisícin Ampere, za to však napjetí jest tak vysoké, že se proráží vzduch jiskrou, ku př. 24 *cm* dlouhou, což poukazuje na napjetí kol 100.000 *V*.

Primární proud nutno ovšem přerušovat, abychom docílili příslušné změny magnetismu v cívce primární. Změny magnetismu budou ovšem ještě větší, když proud nejen přerušíme, nýbrž i obrátíme, čili když povedeme do primární cívky proud střídavý.

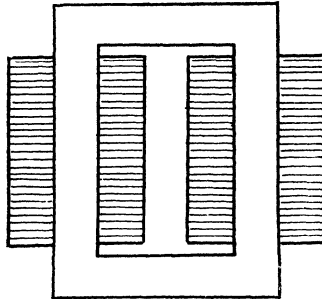
Jednoduchý transformator by nám tedy značilo měkké železo s jedné strany ovinuté nemnoha závitů silného drátu,



Obr. 10.

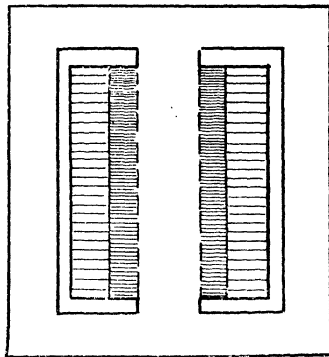
s druhé větším množstvím závitů drátu tenkého (viz obr. 10.). Povedeme-li do proudovodu I. proud střídavý, tu stálá změna magnetismu bude míti za následek indukci střídavého proudu o téže frekvenci v drátech II. Z tenkého vinutí však bude vycházeti proud o menší intenzitě, za to však větším napjetím. Kdybychom však vedli proud střídavý do proudovodu II., pak by vycházel z I. proud o větší intenzitě, ale za to menším napjetím. Mění se zde tedy energie elektrická na jinou formu, při čemž součin napjetí a intenzity *ei* zůstává stejný (theoreticky). U transformatoru uvedeného na obr. 10. bychom shledali, že energie vycházející z vedení sekundárního jest menší. Neboť silokřivky, jsouce uzavřené, musejí při té formě železného jádra

jíti vzduchem, který silokřivky těžce propouští, a tudíž nutno větší silou magnetický odpor přemáhati. Aby se tomu zabránilo, je nejlépe utvořiti celý kruh ze železa, čímž se zmenší magnetický odpor na minimum. To bylo také principem při sestavení celé řady velmi účinných transformátorů. Celkem lze pozorovati



Obr. 11.

dva typy transformátorů: 1. jádrové, 2. plášťové. Obr. 11. nám podává první typ; na rámu z měkkého železa navinuta z jedné



Obr. 12.

strany cívka primární I., z druhé sekundární II. Silokřivky jdou směrem naznačeným v uzavřeném kruhu.

U druhého typu jsou cívky primární i sekundární na témž jádru jsouce měkkým železem obklopeny (obr. 12.).

U všech těchto transformátorů sledován jest jeden účel; omezení totiž ztráty vznikající jednak rozptýlením silokřivek, jednak ztráty hystereseí vzniklé. (Při stálém přemagnetování železa ztrácí se část energie přemáháním remanentního magnetismu.)

Kdybychom do ideálního transformátoru přivedli do silného vinutí proud o 110 *V* a 500 Amp., tu by z tenkého vinutí musela vycházeti energie ku př. 11000 *V* napjetí a intenzitě 5 Ampère. Ve skutečnosti bude energie vycházející menší; u dobrých větších transformátorů ztráty obnášívají 2%—3%.

Dostáváme-li z proudu nízce napjatého proud o velkém napjetí mluvíme o transformaci nahoru, v opačném případě o transformaci dolů.

Nyní můžeme se vrátiti k původnímu problému převedení energie. Převésti větší energii na značnou dálku vadila hlavně ta okolnost, že nebylo lze libovolně zvýšiti napjetí ku docílení nízké intenzity a tudíž tenkého vodiče.

Při použití proudu střídavého odpadá tato závada úplně, neboť mohu transformací docíliti napjetí velmi vysokého. Převedení energie proudem střídavým provedeme tedy takto: Na jedné straně postavíme stroj na střídavý proud poháněný jakým-koli motorem. Necht dávat tento generator proud o napjetí 1000 *V* a 300 *A*; tento proud vedeme nejprve do transformátoru, kdež ho ztransformujeme nahoru, takže bude vycházeti proud o napjetí 30.000 *V* a asi 100 Amp. V této formě vedeme energii tenkým vodičem na libovolnou vzdálenost na místo spotřeby. (Pokračování.)

---

## Giovanni Schiaparelli.

Těžkou ztrátu utrpěla minulého roku astronomie. Slavný italský astronom, Columbus nového planetárního světa, jak Lowel případně nazývá Schiaparelliho, jest mrtev. Navždy opustil svět, který tak často zneuznáním a nedůvěrou splácel vznešenou snahu jeho odhaliti lidstvu tajemství vzdálených družek naší planety