

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2000-2764
(22) Přihlášeno: 29.01.1999
(30) Právo přednosti: 30.01.1998 AT A187/1998
(40) Zveřejněno: 15.11.2000
(Věstník č. 11/2000)
(47) Uděleno: 16.10.2009
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: 25.11.2009
(Věstník č. 47/2009)
(86) PCT číslo: PCT/AT1999/000025
(87) PCT číslo zveřejnění: WO 1999/039430

(11) Číslo dokumentu:

301 173

(13) Druh dokumentu: B6

(51) Int. Cl.:

H02P 21/14 (2006.01)
H02P 21/00 (2006.01)
H02P 23/14 (2006.01)
H02P 6/14 (2006.01)
H02P 6/18 (2006.01)
H02P 6/00 (2006.01)
H02P 7/00 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

WO 9219038 A; WO 9623347 A; JP 9219991 A; GB 2281783 A; JP 3253291 A.

(73) Majitel patentu:

SCHRÖDL Manfred, Siegraben, AT

(72) Původce:

Schrödl Manfred, Siegraben, AT

(74) Zástupce:

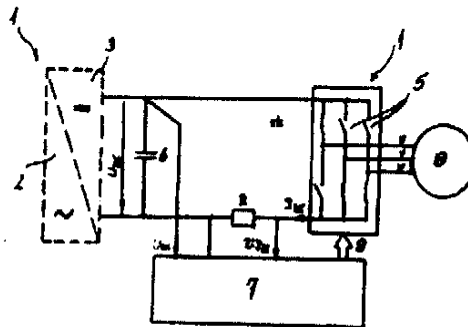
Ing. Eduard Hakr, Přístavní 24, Praha 7, 17000

(54) Název vynálezu:

**Způsob regulace trojfázového stroje bez
mechanického otočného snímače**

(57) Anotace:

Způsob přesné regulace trojfázového stroje (8) bez mechanického snímače, například snímače polohy nebo tachogenerátoru, fungující za jakýchkoliv provozních podmínek včetně nízkých rychlostí otáčení nebo v klidu, při kterém se měří jediná měřitelná proměnná hodnota pomocného vřazeného obvodu (zk), kterou je proud (I_{zk}) v pomocném vřazeném obvodu (zk) nebo napětí (U_{zk}) v pomocném vřazeném obvodu (zk). Přitom se zjišťuje vztah mezi nárůstem fázového proudu a indukovaným proudem pomocí skutečného stavu sepnutí měniče (1), který odpovídá magnetickému toku nebo poloze rotoru trojfázového stroje (8). Měnič (1) je napájen na vstupu (2) střídavého napětí ze sítě dodávající střídavé napětí. Strana (3) stejnosměrného napětí je spojena se střídačem (4), opatřeným polovodičovými usměrňovačem (5), pomocným vřazeným obvodem (zk). Napětí (U_{zk}) pomocného vřazeného obvodu (zk) je vedeno přes kondenzátor (6) a měřicí a řídící jednotce (7) je přes odpor (R) dodáván proud (I_{zk}) vřazeného obvodu (zk). Měřicí a řídící jednotkou (7) se zjišťuje také skutečný stav sepnutí. Regulovaný trojfázový stroj (8) se připojí na můstkový obvod polovodičového usměrňovače (5). Vypočtenými řídícími signály (9) se řídí střídač (4).



CZ 301173 B6

Způsob regulace trojfázového stroje bez mechanického otočného snímače

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu regulace chodu trojfázového stroje bez mechanického otočného snímače, vytvořeného ve formě synchronně nebo asynchronně pracujícího stroje, napájeného přes měnič s vrázeným obvodem, přičemž pro regulaci se zjišťují naměřené hodnoty vrázeného obvodu s přihlédnutím na současný stav sepnutí měniče.

Dosavadní stav techniky

V WO 92/19038 je popsán způsob určování elektromagnetických a mechanických stavových veličin točivého stroje a zapojení obvodu k provádění tohoto způsobu, které mohou být využity pro regulaci chodu trojfázových točivých strojů, které nejsou opatřeny mechanickým snímáním otáček. Při tomto známém způsobu regulování chodu motoru se současně měří proudy ve dvou větvích, aby se zjistily komplexní prostorové parametry. Zapojení k provádění tohoto způsobu musí obsahovat nákladné a tím také drahé snímače proudu, schopné oddělovat potenciály, aby se mohly provádět potřebné výpočty.

Pro přesnou regulaci chodu trojfázových točivých strojů, zejména synchronně nebo asynchronně pracujících elektromotorů, se regulace provádí buď buzením permanentních magnetů, reluktančním efektem, projevujícím se různou magnetickou vodivostí v závislosti na poloze rotoru, nebo kombinací buzení permanentních magnetů a reluktančního efektu, a při ní se zjišťuje stav magnetického toku. Pro otáčky točivého stroje, které jsou větší než určité nejmenší otáčky, se může indukované elektrické napětí (EMS) zjišťovat různými známými způsoby, popsanými dostatečně v literatuře, a z těchto hodnot je možno odvodit stav magnetického toku. Při menších otáčkách se provádí tak zvaný způsob sledování magnetického toku, založený na elektromotorické síle (EMS). Potom mohou následovat způsoby, kterými se posuzuje správnost zjišťování magnetických vodivostí, závislých na poloze a magnetické indukci, a stanovování polohy rotoru, popřípadě stavu indukčního toku.

U asynchronních točivých strojů ovlivňuje hlavní magnetický tok ve stroji magnetickou rozptylovou hodnotu magnetickým nasycením plechu, takže při měření magnetické rozptylové hodnoty v reálném čase nebo s ní spojených hodnot je možno usuzovat na stav magnetického toku. U synchronně pracujících točivých strojů je magnetický tok v pevném vztahu k poloze rotoru, takže u těchto synchronně pracujících strojů může být zjišťování magnetického toku nebo zjišťování polohy rotoru využito pro regulování pomocí orientace magnetického pole. U synchronních strojů s buzením permanentního magnetu bez výraznějšího reluktančního efektu, například v případě, kdy jsou permanentní magnety uloženy na válcovém rotoru, se může určovat při nasycení železa jako u asynchronních strojů magnetická vodivost, závislá na nasycení souvisejícím se stavem toku, přes rozptylovou vodivost u tlumičem opatřených strojů nebo hodnotou hlavního pole beztlumičových strojů určením jejich reálného času nebo zjišťováním jedné příbuzné veličiny u stavu magnetického toku a také je možno určovat polohu rotoru. U synchronních strojů s reluktančním efektem se stejným způsobem místo magnetické vodivosti, kolísající v závislosti na nasycení, zjišťuje magnetická vodivost kolísající v závislosti na geometrii rotoru a tím se současně určuje poloha rotoru. U synchronních strojů s buzením permanentního magnetu a reluktančním efektem se výsledný efekt určuje z kolísání magnetické vodivosti, závislé na nasycení a na geometrii rotoru.

Jak bylo popsáno ve výzkumné zprávě VDI, řada 21, č.117, vydáno vydavatelstvím VDI Düsseldorf 1992, „Sensorless Control of A.C. Machines“ M. Schrödl, je možno zjišťováním ukazatele prostorových změn proudu a jeho dělením prostorovým ukazatelem proudu získávat komplexní veličiny kolísající v závislosti na kombinaci trigonometrického stavu rotoru, popřípa-

dě magnetického toku. Nevýhoda způsobu popsaného v tomto materiálu spočívá v tom, že pro zjištění prostorového proudového ukazatele je nutné zjistit nejméně dva fázové proudy při použití drahých snímačů fázových proudů, například transformátorových bočníků.

- 5 Z WO 96/23347 je dále znám způsob určování fázových proudů točivých strojů na střídavý proud, napájených prostřednictvím měniče, pomocí proudu ve vřazeném obvodu, přičemž se provádí vyhodnocení aktuálního stavu zapojení měniče. Při provádění tohoto způsobu se ukazuje, že proud ve stroji se měří dvěma samostatnými měřeními prováděnými regulací ve vřazeném pomocném obvodu modulovanou šířkou impulzů. Při tomto způsobu se provádějí dvě samostatná
10 měření pro potlačení chyb posunutím časů měření uvnitř jedné periody, vymezené šířkou impulzu.

Úkolem vynálezu je vyřešit způsob uvedeného druhu, který by jednak odstraňoval uvedené nevýhody a jednak by umožňoval lepší, popřípadě přesnější regulování chodu točivého stroje.

15

Podstata vynálezu

- Tento úkol je vyřešen způsobem podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že u asynchronních strojů se zjišťuje měřicími technikami směr magnetického toku, potřebného pro regulaci s orientovaným polem, a u synchronních strojů poloha rotoru, nutná pro regulaci podle orientace rotoru pomocí prostorového kolísání magnetické vodivosti ve stroji, přičemž kolísání vodivosti se zjišťuje z naměřených veličin vřazeného pomocného obvodu, zejména ze zvýšení velikosti proudu ve vřazeném pomocném obvodu a/nebo z napětí ve vřazeném pomocném obvodu a při zohlednění skutečného stavu sepnutí měniče a potom následuje matematické vyhodnocení pro výpočet směru magnetického toku, popřípadě polohy rotoru. Podle vynálezu je poprvé možné vyřešit způsob velmi přesné regulace trojfázového stroje bez mechanického otočného snímače, například snímače polohy nebo tachogenerátoru, fungující za jakýchkoliv provozních podmínek včetně nízkých rychlostí otáčení nebo v klidu, při kterém se měří jediná měřitelná proměnná hodnota
25 vřazeného pomocného obvodu, kterou je proud nebo napětí ve vřazeném obvodu. Přitom se zjišťuje vztah mezi nárůstem fázového proudu a indukovaným proudem pomocí skutečného stavu sepnutí měniče, který odpovídá magnetickému toku nebo poloze rotoru trojfázového stroje.

- Základní myšlenkou tohoto řešení je, že popsané kolísání hodnot vodivosti se zjišťuje v jednotlivých větvích stroje. Způsob podle vynálezu nepotřebuje při své realizaci drahé snímače proudu pro zjištění celé prostorové informace, ale pouze projekce ukazatelů prostorového nárůstu proudu a odpovídajícího prostorového proudu na osy větví motoru. Poměr těchto veličin (označených y s indexem označení větve) je úměrný skutečným lokálním hodnotám magnetické vodivosti v určité ose větve a kolísá s polohou rotoru, popřípadě osy magnetického toku. Podle vynálezu se způsob zaměřuje na zjišťování nárůstu proudu v jednotlivých větvích stroje nikoliv měřením nárůstu proudu v jednotlivých větvích, ale měřením nárůstu proudu v pomocném vřazeném obvodu při současném využití skutečného stavu zapojení měniče. Měnič tedy slouží jako inteligentní několikamístný přepínač, který podle stavu měniče připojuje jednotlivé větve stroje na měřicí modul proudu v pomocném obvodu. Přitom se mohou vzít v úvahu provozní stavy měniče, jestliže regulace stroje není měřeními ovlivněna, nebo vynucené stavy měniče, jestliže je regulace stroje ovlivněna měřeními. Jestliže je například u trojfázového měniče na můstkové větvi U kladné napětí vřazeného obvodu a na můstkových větvích V a W měniče záporné napětí vřazeného obvodu, pak bude ve vřazeném obvodu nuceně protékat proud větve U a tento fázový proud se zjišťuje pomocí vřazeného obvodu. Současně je také známo, že při této měničové kombinaci ukazatel napětí na větvi U uvádí také směr větve, takže zmíněný poměr projekcí ukazatele nárůstu proudu – ve zmíněném případě jde o nárůst proudu ve větvi U – a odpovídajícího prostorového ukazatele napětí – v případě prostorového ukazatele napětí ve směru větve U – se vynese na osy větví motoru, takže se vytvoří hodnota y_u . Pomocí trojfázového měniče a trojfázového stroje se tedy mohou šesti stavy měniče vytvořit zmíněné poměry ve směru U, -U, V, -V, W, -W.

55

Pro upřesnění matematického vyhodnocení se uvádí: Kolísání vodivosti se zjišťuje prostřednictvím veličin proudu v pomocném vřazeném obvodu a napětí v pomocném vřazeném obvodu při současném zohlednění skutečného sepnutí měniče, aby se vytvořil rozdíl nárůstů proudu ve vřazeném obvodu při konstantním sepnutí měniče a dosazení hodnoty prostorového ukazatele napětí do vztahu. Tato matematicky zjištěná hodnota je v jednoznačně známé matematické a strojně teoretické závislosti na indukčnosti stroje, kolísající v závislosti na prostorové úhlové poloze. Tato matematicky zjištěná hodnota je potom přiřazena každé větvi stroje, jejíž osa příslušného dílčího vinutí se shoduje se směrem prostorového ukazatele napětí, určeným známým stavem zapojení měniče, přičemž tato operace se provádí v nejméně jednom směru prostorového ukazatele napětí. Potom následuje matematické vyhodnocení podle známých matematických metod a podle teorie elektrických točivých strojů pro výpočet směru magnetického toku, popřípadě polohy rotoru.

Ve výhodném konkrétním provedení způsobu podle vynálezu se provádějí nejméně dvě měření zvětšování proudu v pomocném vřazeném obvodu a naměřené hodnoty z obou nárůstů hodnot se dosadí do rovnic statorového napětí a vypočte se matematická vazba. Důležitá výhoda tohoto způsobu podle vynálezu spočívá v tom, že se používá stále stejného měřicího modulu, takže chyby měření způsobené různými konstrukčními prvky měřicích modulů se kompenzují a nevzášejší se do výsledků. Tak je možno s tímto řešením podle vynálezu kombinací dvou měření eliminovat elektromotorickou sílu EMS a měření hodnot vodivosti bude nezávislé na otáčkách stroje. To není možné při měření ukazatelů proudu pomocí nejméně dvou proudů ve větvích stroje, protože snímače proudu, podílející se na měření, mívají různé měřicí chyby, které se promítají do výsledku.

V další výhodné konkretizaci způsobu podle vynálezu se provádějí nejméně dvě měření vodivosti v prostorově různých směrech a naměřené hodnoty se dosadí do modelových rovnic:

$$Y_A = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_A - 2\gamma)$$

$$Y_B = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_B - 2\gamma)$$

$$Y_C = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_C - 2\gamma)$$

a úhel γ se vypočte podle známých výpočtových pravidel, přičemž y_A , y_B , a y_C jsou naměřené hodnoty vodivosti ve fázích A, B, a C, $y_{\text{průměr}}$ je průměrná hodnota vodivosti, Δy je kolísání vodivosti a γ je úhel, který odpovídá maximální vodivosti. Jestliže vzniká ve statorovém vinutí napětí EMS indukované otáčejícím se rotorem, bude poměry ovlivněn elektromotorickou silou EMS. Aby se tento vliv eliminoval, kombinují se dvě měření nárůstu proudu a místo napětí se používají napětí rozdílů a místo nárůstů proudů rozdílů v nárůstech proudů v obou kombinovaných měřeních. To se uskutečňuje zapsáním rovnic pro statorová napětí pro obě kombinovaná měření a odečtením obou rovnic. Protože na pravé straně rovnic se přidavně objevuje EMS, dochází při odčítání rovnic k jejich vyloučení. Matematický důkaz je uveden ve výzkumné zprávě VDI-Fortschrittberichte, řada 21, č.117, vydavatelství VJI, Düsseldorf 1992, „Sensorless Control of A.C. Machines“ Od M. Schrödl. Tím přestává být kolísání vodivosti závislé na počtu otáček. Protože z měření vodivosti není ještě možno jednoznačně usuzovat na skutečný úhel rotoru nebo polohu magnetického toku, kombinují se nejméně dvě měření vodivosti v prostorově rozdílných směrech. Tudiž, když jsou dostupná lineární nezávislá měření A,B,C vodivosti s odpovídajícími modelovými rovnicemi pro výkyvy vodivosti

$$Y_A = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_A - 2\gamma)$$

$$Y_B = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_B - 2\gamma)$$

$$Y_C = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_C - 2\gamma)$$

kteří odpovídají dvojnásobnému diferenčnímu úhlu mezi napětovým diferenčním prostorovým fázorem γ_A apod., a směrem maximální hodnoty vodivosti, která podle výše uvedeného popisu

v závislosti na typu stroje odpovídá poloze rotoru nebo směru magnetického toku, mohou být parametry $y_{\text{průměr}}$ (průměrná vodivost) a $\Delta\gamma$ (výkyv vodivosti) eliminovány a může být podle známých výpočtových pravidel vypočten úhel γ .

- 5 Podle ještě jiného výhodného provedení vynálezu se měřením určená vodivost zjišťuje s dostatečnou přesností mezi stejnými napětími v pomocném vřazeném obvodu. Při tomto konkrétním provedení způsobu podle vynálezu se může vynechat zjišťováním vodivosti v pomocném vřazeném obvodu, jestliže kombinovaná měření vodivosti se provádějí na téměř stejných napětích ve vřazeném obvodu, protože potom je parametr hodnoty napětí v uvedených rovnicích tvořen pouze konstantním faktorem, který je v každé rovnici stejný a tedy je při výpočtu úhlu γ eliminován.
- 10 Úhel γ je základem známé regulace pomocí orientace pole, popřípadě rotoru mající dosáhnout nezávislého nastavení hodnoty toku a krouticího momentu trojfázových točivých strojů, přičemž tuto regulaci je možno provádět i při nízkém počtu otáček nebo za klidu použitím způsobu podle vynálezu pro řízení polohy rotoru nebo polohy pole, aniž by se na tomto způsobu regulování
- 15 podílel snímač polohy rotoru nebo tachogenerátor.

V ještě jiném vytvoření vynálezu se při matematickém výpočtu využívají korekční funkce, zejména lineární, závislé na počtu otáček a /nebo zatížení, ve formě

20 $\gamma(\text{korigované}) = \gamma + \Delta\gamma$ (počet otáček, zatížení),

kde γ je úhel, který odpovídá maximální vodivosti.

- 25 Vlivy na průběh vodivosti se mohou vzít v úvahu v tomto případě korekčními funkcemi, které jsou zejména lineární a jsou závislé na počtu otáček a zatížení stroje a které mají uvedenou formu, aby se dosáhlo zvýšení přesnosti regulace, přičemž tyto korekční funkce se zjišťují pomocí referenčního modelu, například modelu magnetického toku podle stavu techniky u asynchronních strojů nebo referenčního snímače otáček, na příklad pro měření úhlu natočení u synchronních strojů vždy jednou pro každý typ stroje.
- 30

V ještě jiném výhodném provedení způsobu podle vynálezu se zjištěný magnetický tok, popřípadě úhel rotoru použije jako vstupní hodnota ve strojním modelu pro přímou regulaci trojfázového stroje. Tím je funkčně jednoznačně zajištěno vy užití způsobu regulace podle vynálezu.

35

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude blíže objasněn pomocí příkladů provedení zobrazených na výkrese, na kterém je znázorněno blokové schéma regulace trojfázového stroje.

40

Příklady provedení vynálezu

- 45 Podle tohoto obrázku je měnič 1 na svém vstupu 2 střídavého napětí napájen ze sítě jednofázovým nebo trojfázovým střídavým napětím. Výstup 3 stejnosměrného napětí je spojen skrze vřazený obvod zk se střídačem 4, obsahujícím polovodičový usměrňovač 5. Napětí U_{zk} vřazeného obvodu zk je přiloženo skrze kondenzátor 6 k měřicí a řídicí jednotce 7. Dále je skrze odpor R přiveden do měřicí a řídicí jednotky 7 proud I_{zk} vřazeného obvodu zk. K můstkovému zapojení polovodičového usměrňovače 5 je připojen regulovaný trojfázový stroj 8. Střídač 4 je řízen výstupními signály 9 měřicí a řídicí jednotky 7.
- 50

V dalším popisu se předpokládá, že v různých dalších příkladech provedení vynálezu budou stejné části zařízení.

55

PATENTOVÉ NÁROKY

5 1. Způsob regulace trojfázového asynchronního nebo synchronního stroje (8) bez mechanického otočného snímače, který je napájen stejnosměrným proudem měničem (1) s pomocným vřazeným obvodem (zk), přičemž při tomto způsobu se pro regulaci zjišťují měřené veličiny pomocného vřazeného obvodu (zk) při zohlednění skutečného spínacího stavu měniče (1),
 10 **vyznačující se tím**, že se pomocí prostorového kolísání magnetické vodivosti ve stroji (8) měřicími technikami zjišťuje u asynchronního stroje (8) směr magnetického toku potřebný pro regulaci s orientovaným polem a u synchronního stroje (8) poloha rotoru potřebná pro regulaci s orientovaným rotorem, přičemž kolísání vodivosti se zjišťuje z naměřených veličin pomocného vřazeného obvodu (zk), zejména z nárůstu velikosti proudu (I_{zk}) pomocného vřazeného obvodu (zk) a/nebo z napětí (U_{zk}) pomocného vřazeného obvodu (zk) a při zohlednění skutečného
 15 spínacího stavu měniče (1), a potom následuje matematické vyhodnocení pro výpočet směru magnetického toku nebo polohy rotoru.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že se provádějí nejméně dvě měření nárůstu proudu (I_{zk}) pomocného vřazeného obvodu (zk) a naměřené hodnoty z obou nárůstů
 20 hodnot se dosadí do rovnic statorového napětí a vypočte se matematická vazba.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že se provádějí nejméně dvě měření vodivosti v prostorově různých směrech a naměřené hodnoty se dosadí do modelových
 25 rovnic:

$$y_A = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_A - 2\gamma)$$

$$y_B = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_B - 2\gamma)$$

$$y_C = y_{\text{průměr}} + \Delta y \cos(2\gamma_C - 2\gamma)$$

30 a úhel γ se vypočte podle známých výpočtových pravidel, přičemž y_A , y_B , a y_C jsou naměřené hodnoty vodivosti ve fázích A, B, a C, $y_{\text{průměr}}$ je průměrná hodnota vodivosti, Δy je kolísání vodivosti a γ je úhel, který odpovídá maximální vodivosti.

4. Způsob podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že měřením stanovená vodivost
 35 se zjišťuje s dostatečnou přesností při stejných napětích (U_{zk}) pomocného vřazeného obvodu (zk).

5. Způsob podle nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že se při matematickém výpočtu stanovují korekční funkce, závislé na počtu otáček a/nebo zatížení, zejména lineární, ve formě

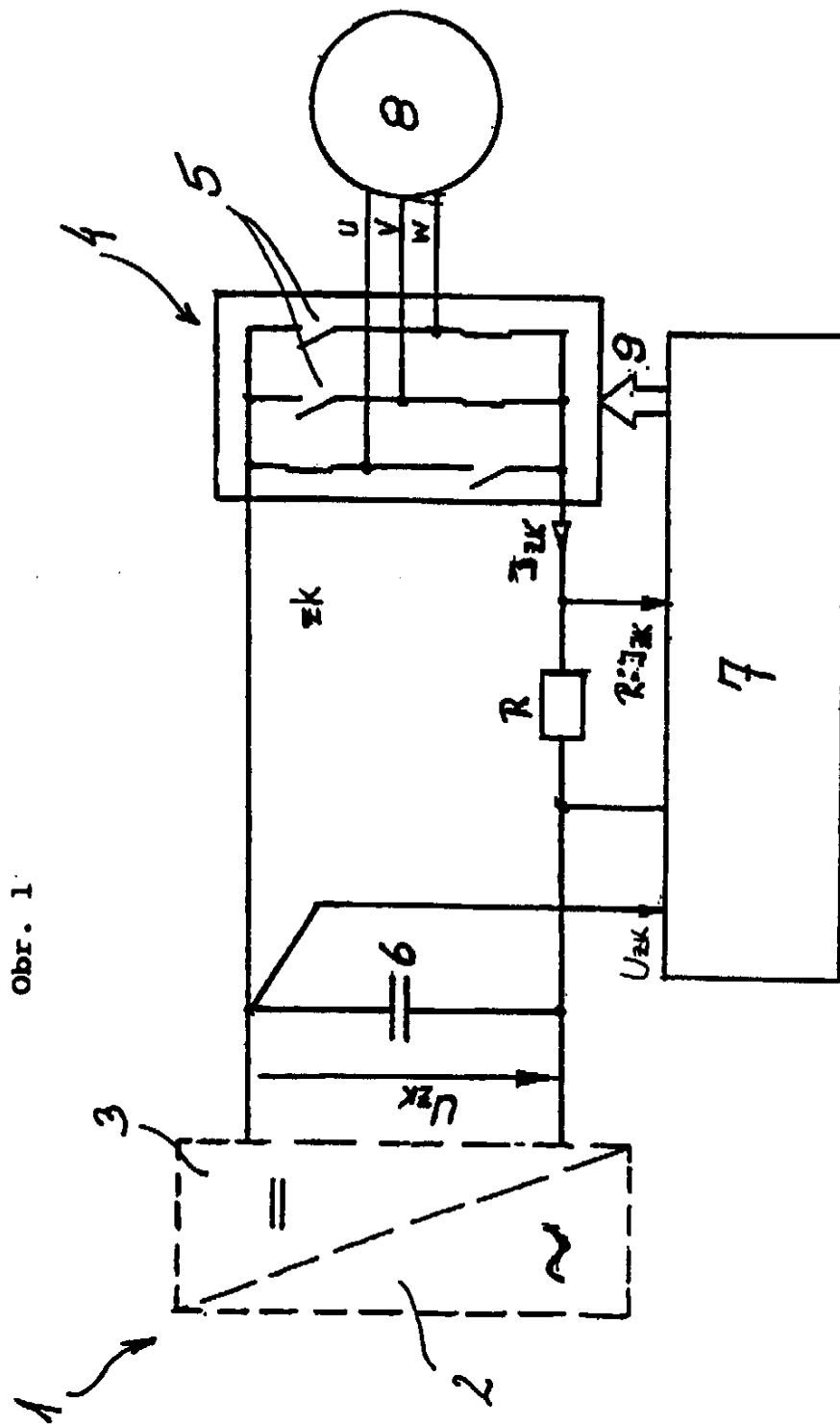
$$40 \quad \gamma \text{ (korigované)} = \gamma + \Delta\gamma \text{ (počet otáček, zatížení),}$$

kde γ je úhel, který odpovídá maximální vodivosti.

6. Způsob podle nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že zjištěný magnetický tok nebo
 45 úhel rotoru se použije jako vstupní hodnota ve strojním modelu pro přímou regulaci trojfázového stroje (8).

50

1 výkres



Obr. 1

Konec dokumentu