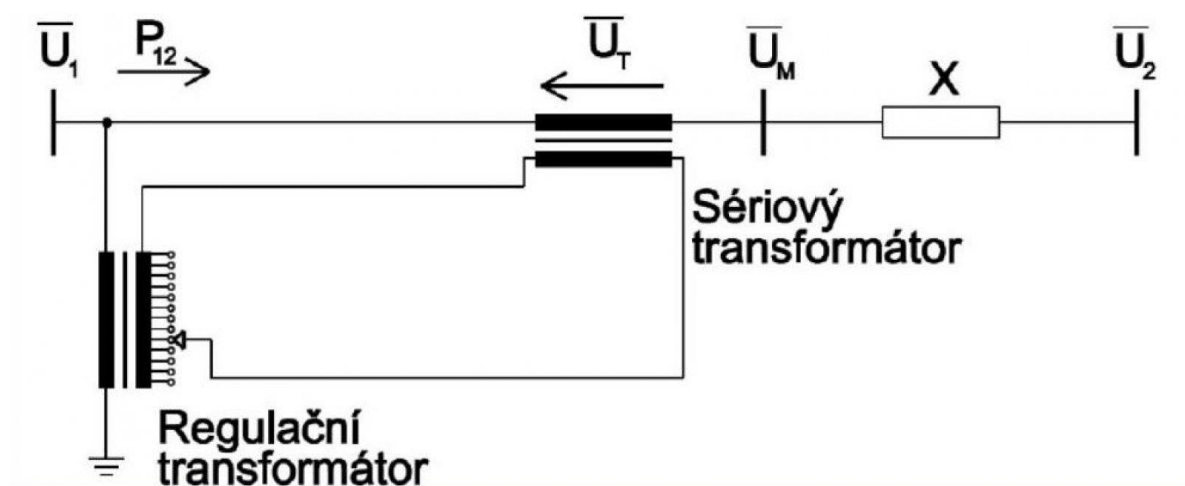


TRANSFORMÁTORY PST S REGULACÍ FÁZE

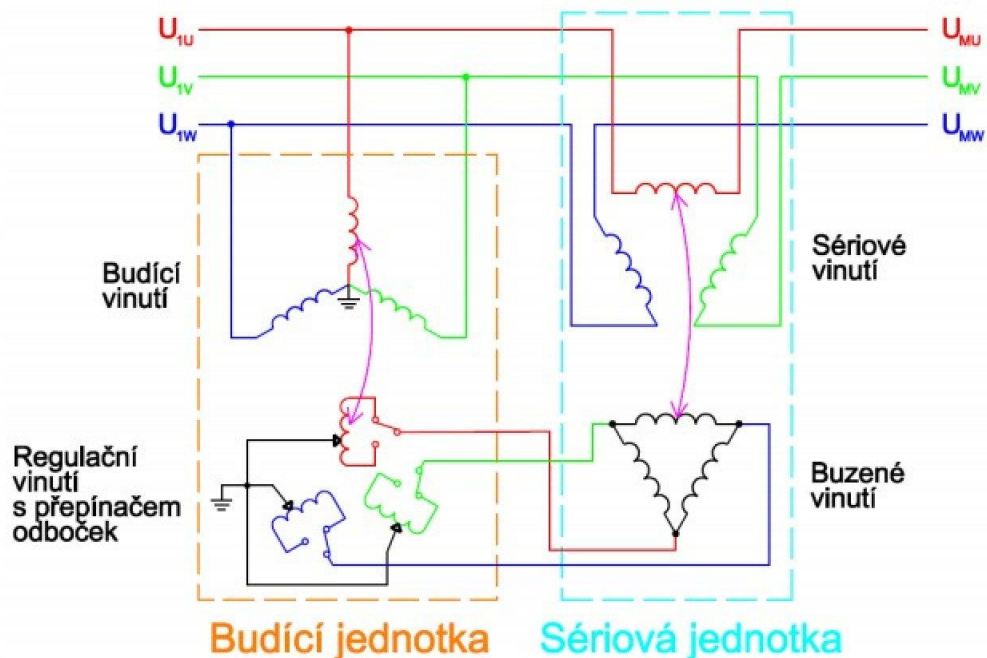
označujeme jako **transformátory s příčnou regulací – PST (Phase Shifting Transformers)**.

Jak funguje transformátor PST

Vnější a vnitřní zapojení vinutí transformátoru má vliv na posun fázoru napětí mezi primárním a sekundárním vinutím. Jelikož tok energie přes transformátor závisí na fázovém úhlu, je možné transformátor použít k regulaci toku elektřiny na přenosovém vedení. **Zařízení se instaluje přímo do vývodů přenosových vedení v rozvodnách vvn a zvn.** Zařízení PST se skládá ze dvou transformátorů. Příčně (paralelně) k přenosovému vedení je zapojen regulační transformátor, ze kterého se získává fázové napětí. Přídavný transformátor je umístěn v sérii s přenosovým vedením. Změnou odbočky na regulačním transformátoru se na sériovém transformátoru objeví kladné nebo záporné napětí $\bar{U}_T$, které způsobí změnu fázového posunu mezi napětím $\bar{U}_{1f}$ a $\bar{U}_{2f}$ na výsledné napětí $\bar{U}_M$. (**Obr. 1**)



Obr. 1 Transformátor s regulací fáze



Obr. 2 Schéma transformátoru s posuvem fáze s nepřímou regulací

Fázové transformátory PST - ochrana elektrizační soustavy České republiky

Až do nedávna se přenosové soustavy jednotlivých zemí obešly bez aktivních prvků pro řízení toků výkonů v sítích. Nebylo jich třeba, protože sítě byly navrženy ve stabilní konfiguraci a při stabilním vývoji výroby a spotřeby, kdy nedocházelo k výrazným změnám. Reálný vývoj byl předvídatelný. Spolu s relativně malými či dlouhodobě předvídatelnými mezistátními přenosy byla ve většině případů zajištěna bezpečnost provozu přenosových soustav s rozložením toků výkonu daným pouze výrobou, spotřebou a impedancí přenosových cest.

Okolnosti, které vedou k instalaci transformátorů PST

Během poslední doby ale postupně dochází ke změnám, které vyvolávají vznik tzv. úzkých profilů v přenosových sítích. Přes tato úzká místa se přenáší enormní výkony, což snižuje spolehlivost provozu soustavy.

Na vznik úzkých míst má vliv především:

- výstavba nových větrných a fotovoltaických elektráren bez ohledu na centra spotřeby,
- vzestup regulačních oblastí (zemí) s výrazně importním či exportním charakterem, nárůst přeshraničních výměn,
- omezení ve výstavbě nových vedení (ekonomická, environmentální a další)
- Problémy vznikající na úzkých místech elektrizační soustavy se řeší současnými prostředky (změny topologie sítě, redispečink) jen obtížně, v některých případech mohou ohrozit i splnění základního bezpečnostního kritéria (N-1). Toto kritérium matematicky vyjadřuje technický požadavek na dimenzování přenosových sítí tak, aby při náhlém výpadku jednoho vedení nedošlo k přetížení dalších vedení v rámci soustavy. Zjednodušeně řečeno – nemá-li síť dostatečnou rezervu, může se projevit „lavinový efekt“, kdy drobná náhodná příčina (např. úder blesku) způsobí poruchu nějakého silně zatíženého vedení a elektřina, která tudy původně tekla, a po poruše nemůže, se v souladu s fyzikálními zákony okamžitě „přelije“ na okolní vedení a zvýší tak jejich zatížení. Při nesplnění kritéria „N-1“ se přetíží další vedení, elektřina nyní již ze dvou nefunkčních vedení se opět „přelije“ na zbývající linky. A celá soustava se začíná hroutit jako domeček z karet. S literární nadsázkou to lze přirovnat k „elektrické cunami“.

Jedním z dostupných řešení pro eliminaci úzkých míst je použití síťových prvků, jež umožňují aktivní řízení toků výkonu po vedeních. Proto se začaly poměrně výrazně nasazovat **transformátory s regulací fáze**, označované též jako **transformátory s příčnou regulací – PST (Phase Shifting Transformers)**.

Principy regulace toků výkonů v sítích transformátory PST

Transformátor PST je vždy složen ze sériové a regulační jednotky. Vinutí sériové jednotky je umístěno přímo na napětí sítě (tedy např. na napětí 400 kV). Na tomto vinutí dochází k výslednému fázovému posunu –

k vstupnímu/výstupnímu napětí se přidává fázově posunuté regulační napětí. Regulační transformátor s přepínačem odboček je napájen z odbočky sériového vinutí a umožňuje regulaci.

Transformátory s příčnou regulací (PST)

Situaci může dále zhoršit instalace zařízení pro regulaci toků výkonů – transformátorů s příčnou regulací (PST) – které se připravují na přeshraničních vedeních přenosové soustavy mezi Polskem a Německem. Omezení toku výkonu z Německa do Polska nepříznivě ovlivní zatěžování ostatních přeshraničních profilů z Německa směrem na východ a bude zvyšovat zatěžování přeshraničních profilů i vnitřní přenosové sítě elektrizační soustavy ČR. Jedním – a téměř jediným účinným a z hlediska doby výstavby možným – řešením vedoucím k odlehčení vedení přenosové soustavy v elektrizační soustavě ČR je také vybudovat obdobné zařízení PST na přeshraničním profilu ČR-Německo mezi přenosovou sítí českého provozovatele přenosové soustavy ČEPS a německého provozovatele přenosové soustavy 50 Hz.

Hlavní směry příkonů v oblasti při velké výrobě z obnovitelných zdrojů energie na severu Německa dnes a při budoucím stavu ovlivněném PST umístěnými na profilu Polsko- Německo a PST umístěnými v rozvodně Hradec na profilu 50 Hz (ČEPS) jsou schematicky znázorněny na **obr. 3 a obr. 4**.

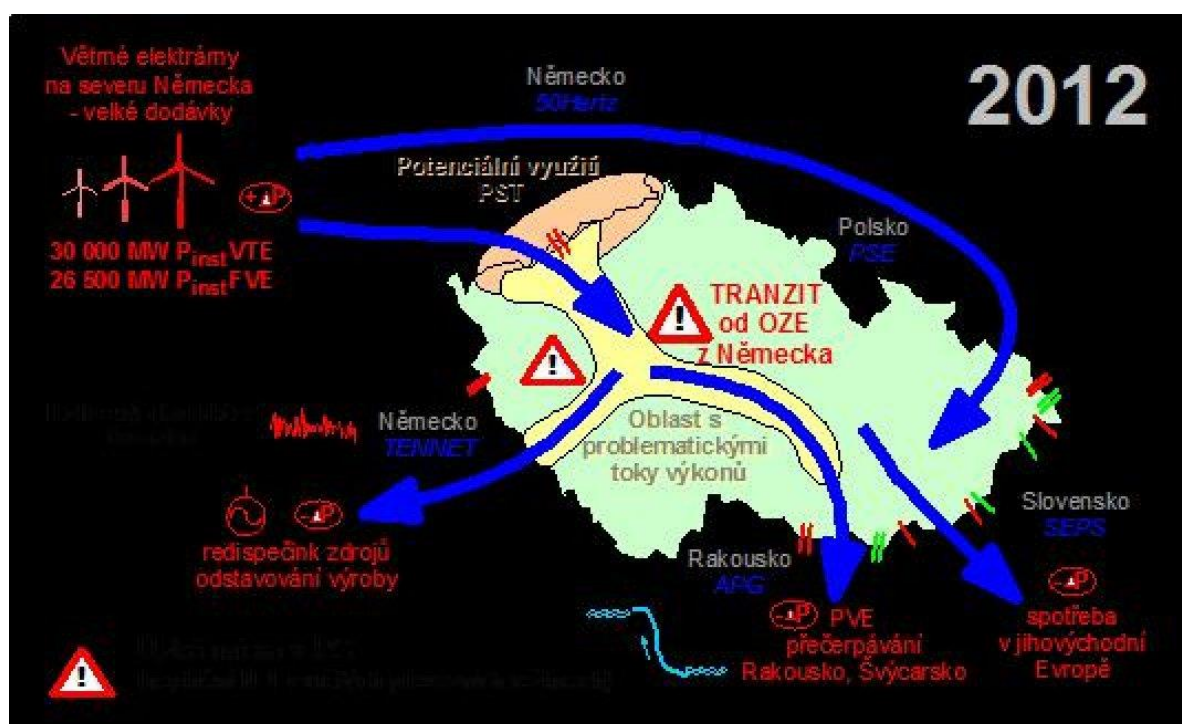
V závislosti na technických parametrech PST nasazených na přeshraničním profilu by bylo v praxi možné omezit přetok nad 1 000 MVA. To by prakticky ve všech případech řešilo kritické situace, jejichž výskyt se v souvislosti s vysokými přetoky přes profily očekává. Nasazení tohoto regulačního prostředku v naší soustavě zčásti přesune příkony mimo elektrizační soustavu ČR.

Uplatnění PST transformátorů v přenosové soustavě ČR

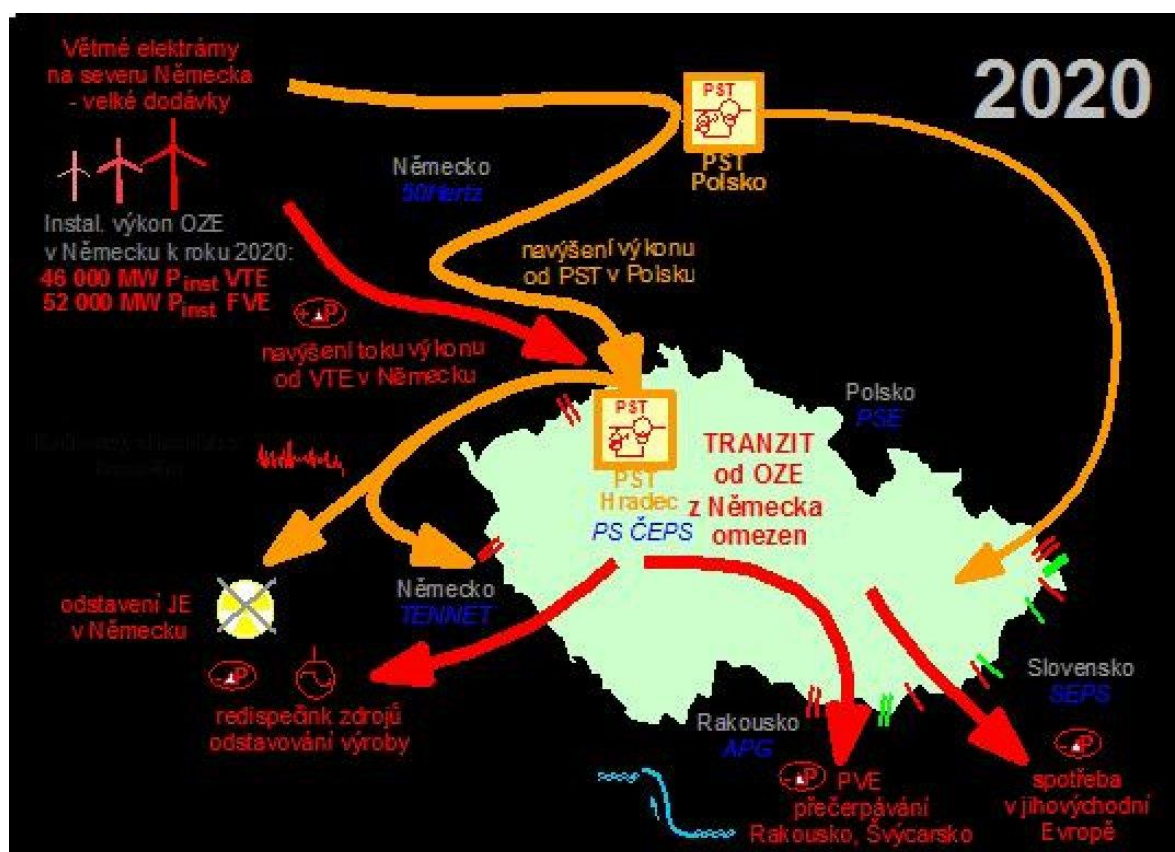
Výrazné změny ve zdrojové základně sousedních elektrizačních soustav (zejména překotná výstavba větrných elektráren na pobřeží Severního moře), stále rostoucí instalovaný výkon obnovitelných zdrojů energie v sousedních zemích a z toho vyplývající velké změny a kolísání toků výkonu po přeshraničních vedeních přenosové soustavy vyvolávají potřebu instalace zařízení, které by umožnilo regulovat toky výkonů po exponovaných přeshraničních profilech přenosové sítě elektrizační soustavy ČR tak, aby byla zajištěna požadovaná bezpečnost provozu přenosové sítě.

Neplánované a kolísavé přenosy výkonu způsobené proměnnou dodávkou ze solárních a větrných zdrojů v Německu se na přeshraničních profilech přenosové soustavy projevují velkými změnami příkonu. V nejkritičtějších situacích se přes naši soustavu valí až 3 500 MW elektrického výkonu, což je více než trojnásobek obvyklé hodnoty. Značné objemy neplánovaných přenosů výrazně zatěžují přenosovou soustavu nejen na přeshraničních profilech, ale samozřejmě mohou přetěžovat i vnitřní vedení, zejména v neúplných stavech zapojení sítě.

Příkony od výroby z obnovitelných zdrojů na severu Německa již v dnešní době značně zatěžují některé části vnitřní přenosové soustavy v ČR, což může ovlivnit vyvedení výkonu z českých zdrojů a může vyvolat potřebu výstavby a posilování dalších přenosových vedení v ČR. V současné době je v Německu instalováno ve větrných zdrojích více než výkon 30 temelínských bloků (cca 31 000 MW), což již dávno výkonově přesáhlo možnosti transferu elektřiny do oblastí vysoké průmyslové spotřeby v samotném Německu a proud se tak dere do sítí ve středoevropském měřítku.



Obr. 3 Hlavní směry toků výkonu, vyvolanou výrobou elektrické energie na severu Německa, stav v roce 2012



Obr. 4 Umístění transformátoru PST v rozvodně Hradec u Kadaně a jeho vliv na směry toků výkonů

Závěr k řešení ES s transformátory s příčnou regulací

Transformátory s příčnou regulací se stávají stále častěji nasazovaným prvkem, který má řešit problematická místa v evropských přenosových soustavách. Jedná se o síťové prvky, které umožňují přerozdělit toky výkonů v propojených sítích a odlehčit přetěžované linky přesunem toků výkonů na jiný, méně zatížený paralelně provozovaný síťový profil. Oproti výstavbě nových posilujících přenosových linek je instalace PST časově výhodnější a není tak náročná na projednání územního a stavebního řízení.

Dlouhodobé problémy s přetoky výkonu z Německa

Velký rozvoj větrných elektráren na severu Německa společně s nedostatečným rozvojem vnitrostátní přenosové kapacity německých sítí na jih země, kde se nachází těžiště spotřeby elektřiny, dlouhodobě způsobuje problémy v české přenosové soustavě, kdy je při silných poryvech větru na severu Německa vyráběný výkon přenášen částečně přes českou přenosovou soustavu.

ČEPS řeší nadměrný toků výkonů z Německa. Spustil proto nové PST transformátory

Provozovatel české přenosové soustavy (ČEPS) v rozvodně 400 kV v Hradci u Kadaně slavnostně zahájil provoz takzvaných PST transformátorů. Čtyři obří regulační transformátory pomohou zvládat neplánované nápory elektřiny z Německa a zajistí bezpečný a spolehlivý provoz elektrizační soustavy v Česku.

Výstavba transformátorů stála téměř 1,6 miliardy korun, ušetří ale desítky milionů ročně, které ČEPS na zvládání toků elektřiny z Německa dosud vynakládal.

Funkci transformátorů můžeme přirovnat k pohyblivému jezu. „Když potřebujete zabránit toku elektřiny, tak ten jez jakoby nadzvednete a ta elektřina se tím pádem roztéká jiným směrem. Protože elektřina vždy teče cestou nejmenšího odporu“.

První dva transformátory uvedl ČEPS do provozu v lednu roku 2017, zbývající dva byly od července ve zkušebním provozu. Jejich instalací se mimo jiné v Česku také výrazně snížilo riziko takzvaného blackout. „Od svého částečného spuštění v polovině ledna přispěly tyto stroje jen za první pololetí letošního roku k omezování protékajícího výkonu přes naši přenosovou soustavu v 73 dnech“.

O výstavbě transformátorů rozhodlo ministerstvo průmyslu a obchodu v roce 2012, samotná stavba byla zahájena v roce 2015. Každý ze čtyř strojů se skládá ze dvou jednotek, které dohromady váží 875 tun.

Jejich přeprava do Kadaně z výrobního závodu v Itálii byla velmi náročná. Cesta každého dílu po moři z Benátek do Hamburku, po Labi do Lovosic a po silnici do rozvodny v Hradci trvala pět týdnů.

Zařízení má životnost 40 let. Zajistí bezpečný provoz soustavy nejen při zvýšeném proudění energie z Německa, ale třeba i během omezení přenosových kapacit při rozsáhlých rekonstrukcích vedení.



Pohled na instalovaný transformátor s příčnou regulací v rozvodně Hradec u Kadaně



Část transformátoru s příčnou regulací



Jedna fáze transformátoru s příčnou regulací v rozvodně v Hradci u Kadaně

Funkce PST transformátoru

Budované transformátory s regulací fáze jsou stroje, které umožňují aktivní řízení protékajícího činného výkonu prostřednictvím změny fázového úhlu napětí na vstupu a na výstupu transformátoru. Transformátory tak umožňují jak snížení protékaného výkonu, tak jeho zvýšení.

Omezením toku v případě ohrožení bezpečného provozu české přenosové soustavy dojde k přerozdělení tranzitního výkonu na okolní méně zatížená vedení.



Jiný pohled na jednu fázi transformátoru s příčnou regulací