

V rámci závěrečného projektu z BPC-RR1 byl navržen a implementován regulátor – nejprve regulátor PI, poté regulátory PID s dvěma realizačními časovými konstantami, a sice 10 a 100. Každý z regulátorů byl navržen metodou Ziegler-Nichols (dále ZN), metodou tvarování frekvenčních charakteristik, dále na základě výsledků těchto metod stanovit optimální hodnoty regulátorů PI a PID dle ITAE kritéria. Řešení bylo konzultováno s Adamem Pospěchem (spolubydlícím) a Jakubem Vyškovským.

Pro názornost bylo při realizaci PI regulátoru metodou ZN provedeno stanovování odezvy po dobu 10 s. Bylo zjištěno, že se navržený PI regulátor (ZN) po několika sekundách rozkmital i bez působení poruchy. Je to způsobeno faktem, že elektrické veličiny (tj. obvody s R, L, C) mají ve srovnání s mechanickými veličinami krátké časové konstanty. Kritické parametry získané metodou ZN jsou proto nadhodnocené. Tento navržený regulátor tak zcela určitě nelze pro řízení hydrogenerátoru použít.

PID regulátor (návrh ZN) dodává soustavě podkritické tlumení – po krátkém, kmitavém přechodovém ději se hodnota výstupního napětí ustálí na hodnotě 5 V (po zhruba 0,5 s). Realizace tohoto regulátoru tak není rovněž ideální. Kmitavé přechodové děje mají negativní vliv na elektroniku – pokud dojde k přepólování přechodu báze-emitor tranzistoru, je tranzistor zahříván. Po překročení prahové hodnoty závěrného napětí (například 5-7 V pro bipolární tranzistor) dojde ke zničení tranzistoru. V případě PID s realizační konstantou 10 se hodnota průtoku v uvedeném čase ustálila asi na 330 ml/s. Dochází ale k agresivnímu přechodovému ději v čase $t = 0$ sekund dosahuje objemový průtok hodnoty (asi 2500 l/s), což je 10krát více než při $N = 10$ (asi 250 l/s). Je to způsobeno použitím derivačního členu, který reaguje na změnu hodnoty regulační odchylky (napětí) v čase, a na jeho výstupu tak mohou být fyzikálně nereálné hodnoty akčního zásahu. Stejně, jako v případě PID regulátoru s $N = 10$ dojde k ustálení hodnoty výstupního napětí na 5 V po zhruba 0,5 s. V čase 0,5 sekundy tak byla přivedena porucha v podobě odebíraného proudu z hydrogenerátoru o velikosti 20 mA. Dojde tak v čase 0,5 sekund k poklesu výstupního napětí hydrogenerátoru o 0,2 V, v čase 0,8 sekund již napětí hydrogenerátoru opět dosahuje 5 V. Působením poruchy se objemový průtok přechodně zvýší z 300 ml/s na 1,4 l/s. Dojde k nárůstu proudu kotvou na 20 mA (hodnota poruchy) a následnému ustálení, proto lze říct, že se s rostoucí hodnotou odebíraného proudu zvyšuje proud kotvou. Zvýší se také úhlová rychlost kotvy a s tím i výška hladiny v nádrži. Bylo tak potvrzeno, že PI ani PID regulátor nedovedou plně eliminovat poruchu, která mění vlastnosti systému v čase (tj. dynamicky) a neovlivňuje tak přímo regulovanou veličinu. Dochází pouze k její částečné kompenzaci – v grafech je tato část ovlivněná poruchou žlutě zabarvena. Doba, za kterou je porucha vyregulována, je v grafech zobrazena jako červeně podbarvená oblast.

Návrh metodou tvarování frekvenčních charakteristik spočíval v kompenzaci pólů s nejvyšším vlivem na dynamiku systému (tj. pólů nejbližších imaginární ose) nulami. Na zásobu stability ve fázi 60° byla provedena korekce pomocí změny zesílení. Nejprve byl navržen PI regulátor. Z charakteristik PI regulátoru vystupuje především mírný náběh přechodového děje objemového průtoku. Kromě toho nedosahuje tak vysokých hodnot ani proud při přechodovém ději proudu kotvou a vinutí tak není zatěžováno větší proudovou špičkou, než je 23 mA. Nevýhodou je jeho rychlost. Výstupní napětí hydrogenerátoru dosáhne požadované hodnoty 5 V po 0,5 sekundách, což je ve srovnání s PID navrženým touto metodou značně dlouhá doba.

Návrh PID regulátoru spočíval jednak v kompenzaci pólů s největším vlivem na dynamiku nulami, zároveň byl umístěn realizační pól, jehož poloha byla vypočtena dle vztahu v zadání projektu, kde T_0 a T_1 jsou časové konstanty pólů s vlivem na dynamiku. Výpočet je uveden v příloženém souboru .xlsx (příloha). Regulátor PID dosáhne požadované výstupní hodnoty hydrogenerátoru

5 V již po 0,1 sekundách s nevýhodou přechodového děje s velkým nástupem. S vyšší realizační konstantou se z principu zvyšuje i nástup přechodového děje, jak již bylo uvedeno. Ve srovnání s PID regulátorem navrženého metodou ZN jsou přechodové děje více utlumené – např. proud kotvou dosahuje kladného překmitu na 200 mA, poté jen zanedbatelně malého záporného překmitu. Tento přechodový děj tak snižuje životnost kotvy méně, než u PID regulátoru navrženého ZN. Z těchto důvodů byly pro ITAE kritérium použity vhodnější parametry PI a PID získané metodou ZN.

Při návrhu pomocí metody ITAE byly optimalizovány parametry získané tvarováním frekvenčních charakteristik. Simulace byla v případech jak PI, tak PID nastavena na 10^{-5} s, při menších krocích docházelo k numerickému kolapsu. Byly tak získány optimalizované hodnoty. PID s $N = 10$ a $N = 100$ nebyly doplněny o zvýraznění, jelikož je téměř shodné s tím u regulátorů navržených metodou tvarováním frekvenčních charakteristik.

Pro aplikaci v technické praxi se zdá jako nejlepší řešení (při použitých návrhových metodách dle zadání) pro regulaci hydrogenerátoru regulátor PI. Objemový průtok během přechodového děje nepřesahuje hodnoty jednotek litrů za sekundu. Nedochází tak k velkým překmitům ani co se výšky hladiny týče. Jeho nevýhodou je rychlost vyregulování poruchy (za cca 0,5 sekundy). Ve srovnání s ním PID regulátor s optimalizovanými parametry dovede vyregulovat poruchu již za 0,1 sekundy (5krát rychleji) za cenu vysokých, fyzikálně nerealných překmitů během přechodného děje.