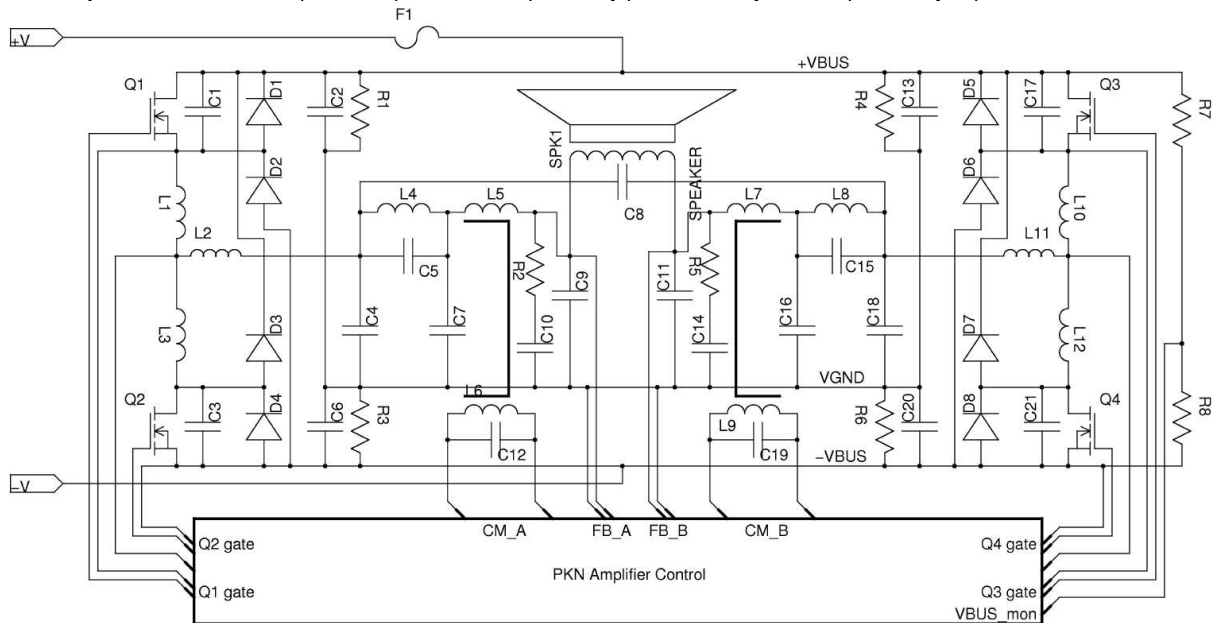


## High Power Switching Audio Amplifier with symmetrical topology and digital control – Vysoce výkonné spínané zesilovače se symetrickým uspořádáním a digitální kontrolou

Spínané výkonové zesilovače jsou dnes jediným řešením pro neustále rostoucí požadavky na jejich výkon, pro jejich relativně vysokou účinnost (typicky kolem 90%) a relativně malé nároky na chlazení vzhledem k dosahovaným výkonům. Mohou mít daleko kompaktnější rozměry a podstatně nižší hmotnost, což je bezesporu obrovská přednost oproti klasickým analogovým zesilovačům. (Klasický zesilovač ve třídě AB má účinnost okolo 55 – 65%, zesilovač s regulovaným zdrojem ve třídě T, nebo H asi 75 – 80%). Většina zpětné elektromotorické síly - Back Electromotive Force EMF, která proudí repro-kabeláží zpět do výstupu zesilovače je u klasických zesilovačů vyzářena jako teplo. Spínané zesilovače dokážou recyklovat tuto energii asi z 90%). Nicméně, spínané zesilovače (typicky označované jako Class-D), i když jsou správně navrženy a zkonstruovány, nedosahují obvykle takové kvality zvuku, jako poslední soudobé analogové zesilovače. Společnost PKN Controls vyvinula nové, symetrické uspořádání na bázi páru polo-můstkově konfigurovaných, invertujících větví. (Kladná a záporná půlvlna). Naše koncepce sestává sice z dvojnásobného počtu výkonových součástek v každé větvi, ale každá může být na poloviční napájecí napětí. To je velká výhoda, poněvadž spínací součástky na nižší napětí mají lepší spínací charakteristiky než vysokonapěťové Mosfety. To znamená méně vyzařovaného tepla a přesnější tvar sinusovky. Další výhodou je potřeba pouze jednoho napájecího zdroje a nejsou zde žádné silné proudy tekoucí přes virtuální zem, jako to bývá u konvenčních „D-Class“ (jedno-koncových) zesilovačů s nesymetrickým výstupem. Hodně dnešních „D-Class“ zesilovačů nemá z výstupů bránu zpětnou vazbu kvůli problematickým fázovým posuvům způsobeným pasivní výstupním „Low-pass“ filtrem. Mohou mít sice bezproblémový provoz s čistě rezistivní zátěží, ale reálný svět reproduktorů má i zátěže kapacitní, apod. Proto mají zesilovače PKNC napěťovou zpětnou vazbu pro každý polo-můstkový inverter přímo z výstupů.



Jedna koncová větev je tvořena měkce spínanou polo-můstkovou konfigurací mosfetů a ultra rychlých diod. Přidané indukčnosti a kapacity minimalizují ztráty při spínání a snižují úroveň EMI – elektromagnetického rušení koncové větve jsou řízeny spínací jednotkou s minimální prodlevou.

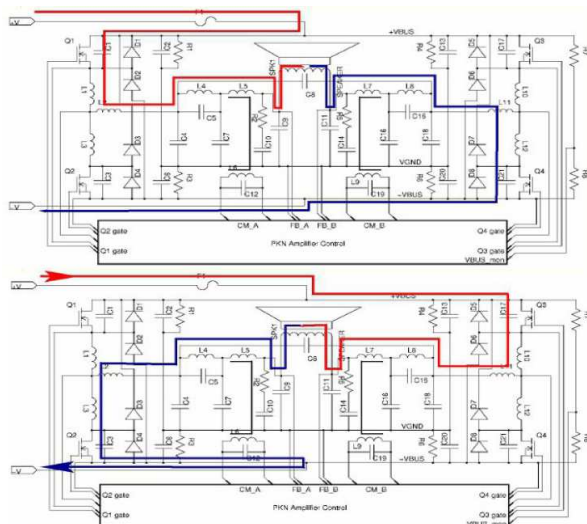


Fig.1

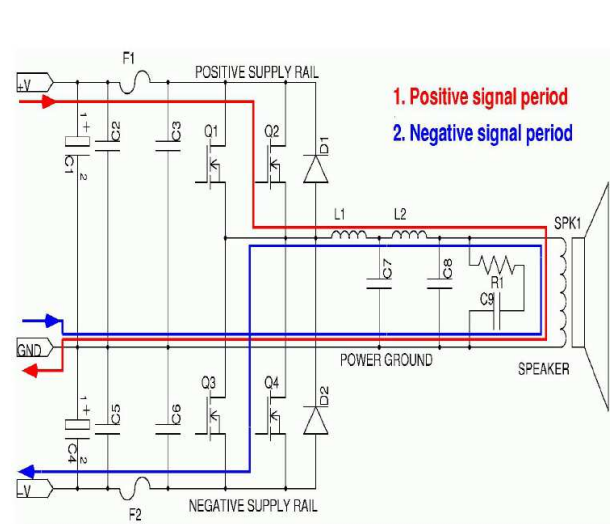


Fig.2

Hlavní proudové cesty výstupního signálu jsou znázorněny na fig.2 Pro jejich porovnání s konvenčním řešením u „Class-D“ si můžete prohlédnout fig.3, kde je dobře vidět, že zde není symetrie kladné a záporné proudové cesty.

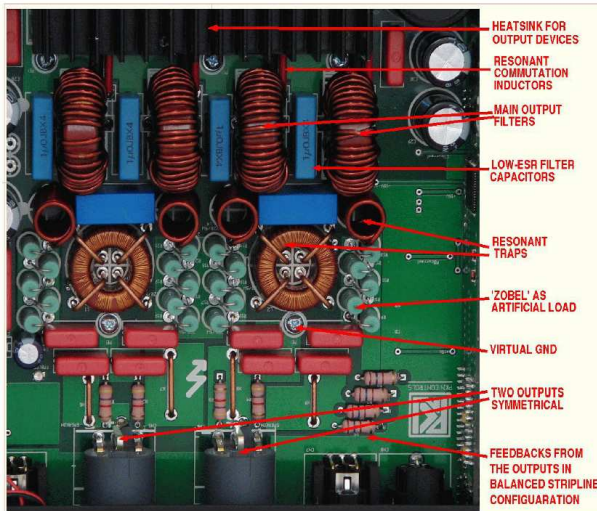
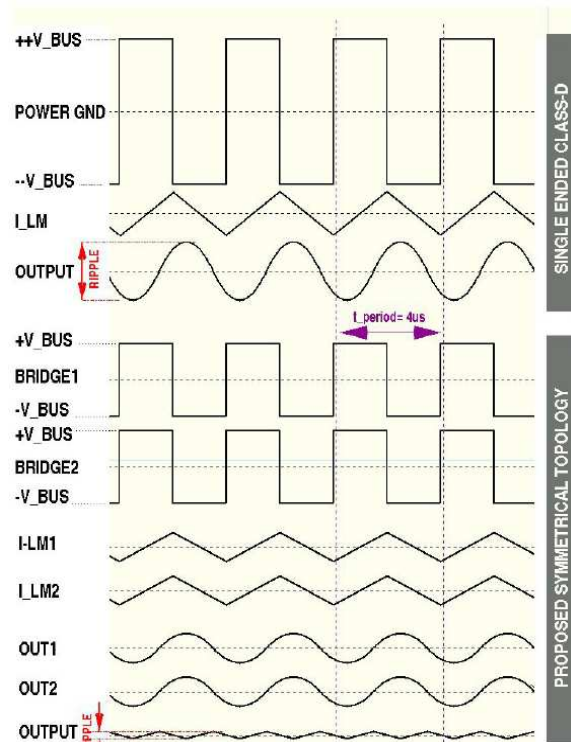


Fig4.

Kompletní výstupní obvod můžete vidět na fig.4. Počet výstupních filtračních cívek je dvojnásobný, vyplývá to z polo-můstkového zapojení inverterů – každá větev má 4, ale rozdělené inductory mají polovinu indukčnosti a jejich plocha je mnohem větší, než u jednoho. Protože inductory vedou relativně vysoké proudy, které zahřívají jejich vinutí a jádra, v tomto případě jsou výkonové ztráty rozděleny do dvou inductorů a disipace tepla se ztrát probíhá na větší ploše. Tyto pasivní inductory jsou vyrobeny z vysokoteplotního vinutí a Class-F jáder. Hlavní výstupní filtry jsou ještě doplněny několika menšími filtračními elementy jako VF rezonančními tlumivkami a „Zobel“ filtrací – umělým zatěžovacím obvodem na výstupu. Všechny kondenzátory použité ve filtračních obvodech jsou nejvyšší kvality a mají nejnižší ESR/ESL parametry v operačním pásmu. Zbytkové vysokofrekvenční zvlnění (>50kHz) je velmi malé. Na fig.5 můžete vidět daleko příznivější stav zbytkového vysokofrekvenčního zvlnění (RIPPLE), při symetrické konfiguraci koncového stupně, oproti D-class s nesymetrickou konfigurací.

Fig.5



Oba obvody běží na 250kHz nosné frekvenci a mají na svých výstupech přibližně stejné výstupní filtry. Nesymetrická D-Class konstrukce má na sběrnici dvojnásobné napětí, než konstrukce symetrická, ale výstupní výkon obou řešení je přitom přibližně stejný. U symetrického řešení je reproduktor připojený na OUT1 a OUT2 a zbytkové VF zvlnění je v tomto případě téměř zanedbatelné. U nesymetrické konstrukce je zůstatkové zvlnění daleko větší.

I když je nosná – spínaná frekvence více jak 10x vyšší než je konec slyšitelného pásma, výstup symetrické konstrukce je daleko blíže dobrému analogovému zesilovači.

Další a neméně důležitá výhoda tohoto symetrického spínaného zesilovače je téměř nulové přechodové zkreslení. (Přechodové zkreslení je neharmonického charakteru a lidské ucho je na ně velmi citlivé). To je dáno tím, že obě větve koncového stupně, kladná i záporná jsou na stejné nosné – spínané frekvenci, a tím pracují v naprosto stejném časovém režimu.

Celý zesilovač je kontrolován řídicím procesorem v reálném čase. Všechny důležité operační parametry jako vstupní a výstupní úrovně signálů, proudy, teploty na různých místech, různé typy limiterů a všechny ochranné funkce jsou monitorovány a řízeny Hlavním procesorem systému. K tomu, aby zdroj zesilovače dodával do koncového stupně energii přesně podle jeho potřeb, má zesilovač ve své výbavě plně duplexní, opticky izolovaný interface. Hlavní procesor systému má tak k dispozici informace o úrovních v hlavním přívodu a také o aktuální impedanci připojených reproduktorů. Vlastní operační software udržuje celý zesilovač – koncový stupeň i

zdroj v optimálním pracovním režimu. Ve fig.6 můžete vidět modul zesilovače zobrazen z pájené strany. Několik z funkčního hlediska nejdůležitějších obvodů je zobrazeno. Většina součástek jsou SMD pro větší spolehlivost a úsporu místa. Znázorněný modul zesilovače je „srdcem“ XD a XE řady zesilovačů PKNC.

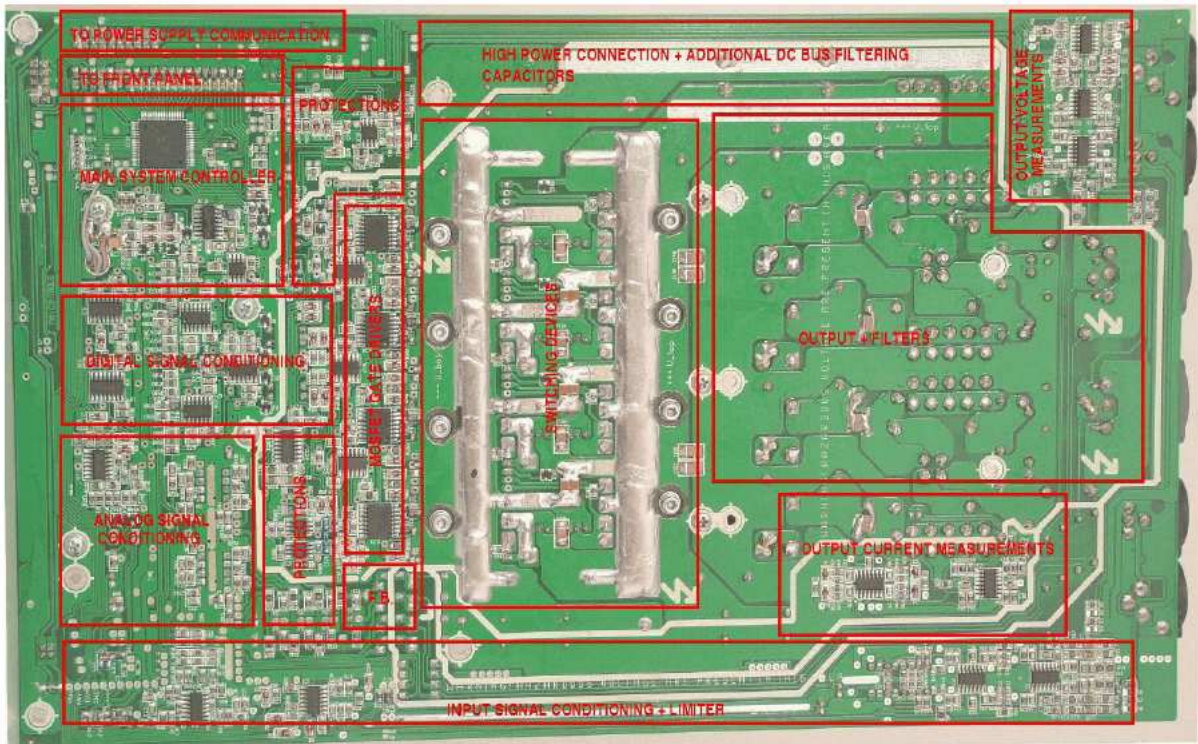


Fig6.



## PKN Compact switching power supply with digital control – spínané, digitálně řízené zdroje pro zesilovače PKNC

Výrobce PKN Controls vyvinul nový, dvoustupňový, vysokofrekvenční zdroj s velkou konverzní účinností s galvanickým oddělením. Samozřejmostí u zdrojů PKNC je aktivní korektor účinniku – APFC.

Tato jedinečná technologie spínaného zdroje s APFC – aktivní korekcí účinníku umožňuje efektivní přenos masivního množství energie z jističe až do koncového stupně zesilovače. APFC korektor spolu s konstrukcí spínaného zdroje s mohutnou zálohou energie zajišťuje odebrání el. energie z hlavního přívodu ve formě jemné a vyrovnané sinusoidy, která je ve fázi s fází hlavního přívodu.

Kompletnější popis a schéma spínaného zdroje s APFC regulací, si můžete prohlédnout v níže uvedeném textu, zatím pouze v anglickém jazyce. (Na překladu pracujeme – děkujeme za pochopení).

## Compact switching power supply with digital control for Audio Amplifiers

**Péter PAPP**

PKN Controls Ltd. Agyag u. 24. 8000 Székesfehérvár, HUNGARY  
e-mail: [peter.papp@pknc.com](mailto:peter.papp@pknc.com) | [www.pknc.com](http://www.pknc.com)

**A novel two-stage high frequency power supply with high conversion efficiency and galvanic insulation is proposed in the following paper. Delivering the required high peak and long-term power for a several thousands Watts range amplifier is not an easy job. Conventional unregulated “50-60Hz toroidal transformer” solutions suffers for heavy weight, bulky size and varying output voltage behavior. Another problem is the bad power factor with spike current draw due to its peak-rectification on the secondary side of the transformer.**

The proposed circuitry is shown on fig1. having two-stage topology. The input line filter (Cf1,2;Lf1,2) is followed by a soft start circuitry and the rectifier bridge. The soft-start circuit (S1;Rstart) eliminates the current bump of empty capacitors in the primary DC bus when the power input is connected to the AC line. So the charge current peak is limited around 30Apeak at the time of power-up.

A conventional Continuous Current Mode (CCM) boost converter regulated as an Active Power Factor Converter (APFC) composed by Lboost;Qb and Db elements regulates the primary DC bus Voltage around 400V while forcing sinusoidal current draw on the input. The APFC circuit is able to keep the DC bus nominal voltage unchanged in the input line range of 160V – 275V while the load exceeds even 7500Watts.

Both the boost coils of APFC and filters made by Litz-wire for reducing the losses caused by the Skin-effect.

As a second stage of the power supply a high frequency Zero Voltage Switched (ZVS) serial-resonant converter (Q1,2;D1,2;Cs1,2;Cr1,2;Ls;Lm and TR1) drives the insulation transformer which charges Co1 up to the required output voltage and directly powering the amplifier end-stages.

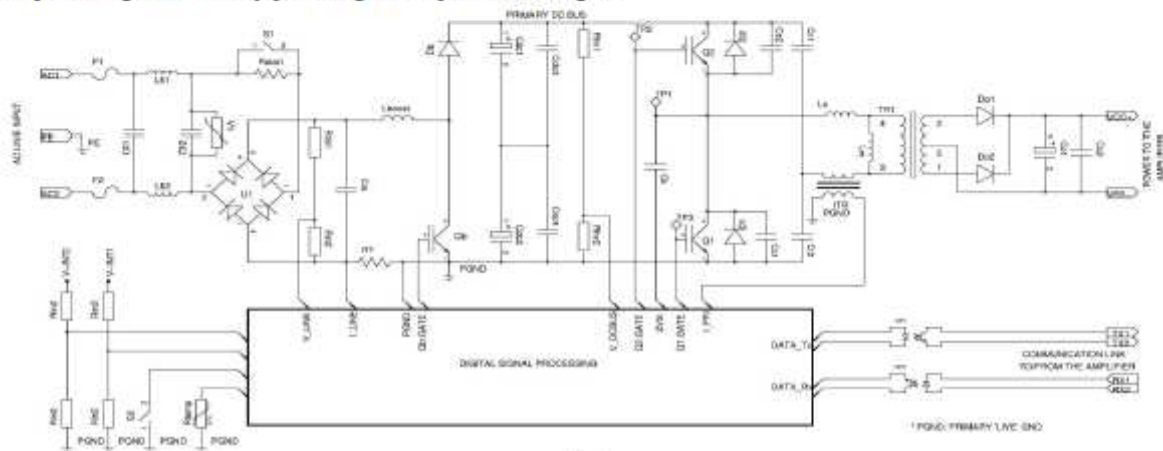


fig1.

High frequency operation of the transformer is essential to keep the passive energy conversion elements in small size. For this application a custom-made special transformer is developed, the prototype is shown on fig2. with the auxiliary windings. The isolation transformer has composed by a state-of-the-art high frequency ferrite material which exhibits very low power losses in its operation frequency range from 115KHz up to 285KHz. The high current windings of the transformer are made from custom made thin copper layer with high temperature 'class F' insulation laminated rectangular strips.

The Half-bridge serial-resonant ZVS topology is among one of known highest efficiency converters up to date. The converter works above its characteristics resonant frequency in the entire operational range. This type of converter has all of the advantages of soft switching behavior like the switching devices turns on at nearly zero voltage on it and the turn-off losses are also greatly reduced by the capacitive snubbers attached to the power devices

The capacitive snubbing ( $C_{s1,2}$ ) used on the switching devices has a strong influence on  $dV/dt$  values at commutation transitions and reduces high-frequency ringings. Lower  $dV/dt$  and less ringing means lower EMI floor of the converter and less voltage stresses to the output rectification diodes ( $D_{o1,2}$ ). Compared to the widely-used ZCS serial-resonant converters the ZVS method has much less snubbing requirements and lower thermal losses at the output rectifiers.



Fig 2.

Lowered switching losses enable to run the converter at high frequency without affecting the conversion efficiency.

The power supply is controlled by an embedded microprocessor which represents several digital signal processing functions also. All of the environmental conditions like temperature and input line voltage are continuously monitored by the processor and driver signals generated for power switching devices. To maintain the ZVS operation (fig3.) of the power switching devices a novel PFM/PWM modulation technique is developed. The actual operation frequency and PWM values are both changes depends on the output load conditions. Clear ZVS transitions can be observed on the switching devices, they are always turns on at nearly zero voltage and the  $dV/dt$  of turn-off transitions are decreased by the parallel capacitive snubbing elements.

The start-up sequence for reducing the current stresses on the switching devices and output devices caused by the empty output capacitor block is preprogrammed into the controller as well as safety shut-down functions in case of fault or overload.

Moreover we have established a full duplex optically isolated digital communication link (OP1,2) between the processor of power supply and the main system controller in the amplifier. The system controller sees the signals of the amplifier stages and makes a kind of 'feed-forward' regulation of the power supply unit. This way the amplifier is able to change the parameters of power supply before the signs of change would appear on its output voltage.

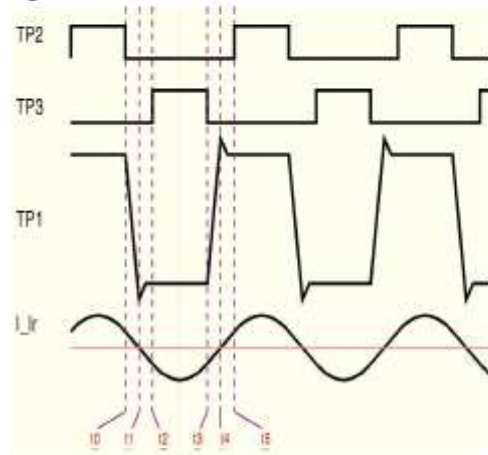


fig3.

The proposed power supply unit is constructed on a heavy-copper multilayer board with simplified wiring needs. The unit shown on fig 4. fits in a single rack unit height box and requires forced air cooling while is able to deliver 7600Watts peak power used in the XD/XE amplifier series from PKN Controls.



fig4.

## **PFC – Power Factor Correction – Korekce účinníku**

Korekce účinníku. Technologie používající regulaci kapacitní zátěže zdroje. Základním principem je sledování aktuální hodnoty vstupního napětí, které je dvoucestně usměrněno. Podle výsledné hodnoty je ovlivněna regulační smyčka spínající hlavní výkonový tranzistor. Výsledkem je změna okamžité hodnoty vstupního proudu podle průběhu napětí. Hlavní výhodou je schopnost pracovat v širokém rozsahu vstupního napětí a schopnost odběru harmonického proudu ze sítě. Zařízení se na vstupních svorkách chová jako reálná zátěž. Významně zvyšuje výkonový faktor, přispívá k stabilizaci el. napětí a úsporám energie a financí. Výhodou je zlepšení účinníku dosahující téměř hodnoty 1.0.

PKN Control zesilovače - jedinečná technologie spínaného zdroje s APFC – aktivní korekcí účinníku. Toto řešení umožňuje efektivní přenos masivního množství energie z jističe až do koncového stupně zesilovače. PFC korektor spolu s konstrukcí spínaného zdroje s mohutnou zálohou energie zajišťuje odebírání el. energie z hlavního přívodu ve formě jemné a vyrovnané sinusoidy, která je ve fázi s fází hlavního přívodu.

Proudová kapacita přívodní síťové šňůry zesilovače je dána množstvím proudu odebíraného zesilovačem s hl. přívodu, a to měřením v souladu s IEC 60056, která se vztahuje k audio/video a hudebním aparaturám pro domácnosti, profesionální a ostatní obecné používání. Při testování za podmínek konstatovaných ve výše uvedeném standardu IEC, mohou PKN Controls zesilovače řady 2500, 4000 a 6000, používat na síťovém přívodu 16 –ti ampérovou síťovou vidlici.

+



## Damping Factor – činitel tlumení

Přivedeme-li do reproduktoru signál, reproduktor se dá do pohybu v závislosti na amplitudě a tvaru signálu, který do něj přivádíme. I když je signál ukončen, reproduktory mají tendenci zůstat v pohybu v důsledku setrvačných sil jejich vlastního mechanického systému a pružinovému modulu způsobeného např. naakumulovanou energií kmitajícího sloupce vzduchu nad membránou, vibrací stěn ozvučnice, stojatými vlnami apod. (Závisí na typu reproduktoru, typu ozvučnice, frekvenci a amplitudě apod.) Jinými slovy, reproduktor produkuje zvukové vlny, které nejsou částí originálního signálu. Tyto jevy bývají nejhorší u subwooferů)

Předpokládejme, že do reproduktoru přivedeme signál dobře „zagejtovaného šlapáku“ s krátkým časem ataku a doznívání. Když je tento signál ukončen, reproduktor má tendenci dále pokračovat ve vibracích. Membrána se na svých závěsech dále pohybuje dopředu a dozadu, a z krásného, krátkého zvuku, je najednou zvuk rozmazaný a hučivý.

Naštěstí, zesilovač s dobrým činitelem tlumení může pohyb reproduktoru dobře kontrolovat. Činitel tlumení je vyjádření poměru mezi výstupní impedancí zesilovače a zatěžovací impedancí. Čím nižší výstupní impedance zesilovače je, tím je vyšší Činitel tlumení a zesilovač má větší kontrolu nad pohybem membrány a ztlumením jeho nežádoucích vibrací když už do reproduktoru neteče signál.

Když membrána reproduktoru vibruje, chová se jako mikrofon a generuje signál ve své cívce. Tento signál se nazývá zpětná elektromotorická síla (back Electromotive Force EMF), která proudí reprotokabeláží zpět do výstupu zesilovače, a potom zase zpět do reproduktoru. Protože je EMF opačné polarity vzhledem k pohybu membrány a tlumí nám tento pohyb.

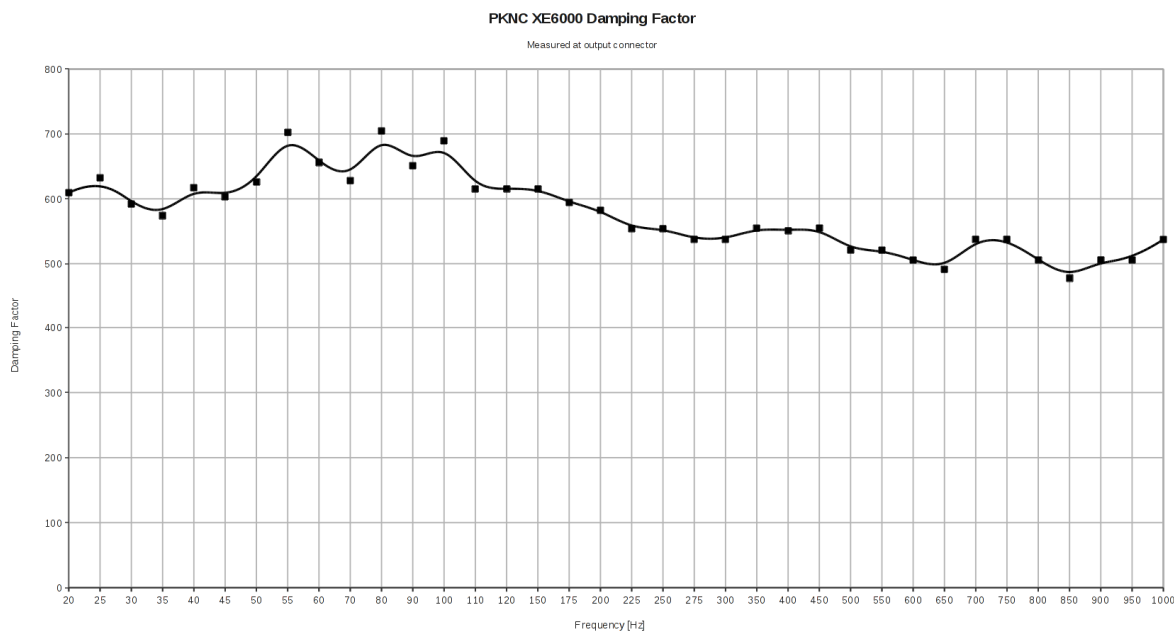
V praxi tento jev vyzkoušíte tak, že poklepete na membránu reproduktoru (nejlépe basového v subwooferu) bez připojeného zesilovače a kabelu. Zvuk bude hluboký a bude nějakou dobu doznívat. Potom kontakty reproduktoru zkratujete např. na výstupním konektoru a opět poklepete na membránu. Zvuk bude o poznání vyšší tón a bude velmi krátký. Proto, když má zesilovač vysoký činitel tlumení (okolo 500 a výše), má tedy nízkou výstupní impedanci a může dobře kontrolovat doznívání membrány – podobně, jako když jste reproduktor zkratovali a tím ztlumili.

Činitel tlumení se mění s frekvencí a nejdůležitější v nízkých frekvencích okolo 10 až 400 Hz.

Nutno však podotknout, že špatná kabeláž neodpovídajícího malého průřezu, nepřiměřená délka kabeláže a konektory se špatnými (i zoxidovanými) kontakty, činitel tlumení výrazně zhoršují.

PKN zesilovače používají pouze kvalitní reproduktorové konektory NEUTRIK s paralelním kontaktů pro zlepšení činitele tlumení spolehlivosti.

Níže můžete vidět tabulku činitele tlumení zesilovače XD/XE-6000 @ 8 ohmové impedanci.



Proč je výkon menší do 2 ohmů než výkon do 4 ohmů u zesilovačů PKN Controls u sérií XD/XE-4000, 6000?

Když se podíváme na poměry výstupních výkonů zesilovačů vzhledem k zatěžovací impedanci, obvykle můžeme vidět vyšší výkon do 4 ohmů jako do 8, a vyšší výkon do 2 ohmů, jako do 4.

U zesilovačů PKN Controls řady XD/XE-4000 a 6000 je to ale jiné. Výkon do 2 ohmů je menší, jako do 4 ohmů z pochopitelných důvodů. Vysvětlíme Vám proč.

PKN zesilovače jsou navrženy k dosažení co nejvyššího napětí na výstupu, což zajistí vysoký výkon a zlepšení transientního chování reproduktorů. PKN zesilovače fungují s maximálním napětím při každé impedanci. ( 170V má na výstupu model XD/XE-6000). Při impedanci 2 ohmů, by zde byla proudová hustota 85 ampér, a pokud by tento proud nebyl pod kontrolou, mohlo by dojít k přehřátí a poškození zesilovače. (Pro zajímavost, při proudu 85 ampér je možno již svařovat s elektrodou o průměru 2,5 mm).

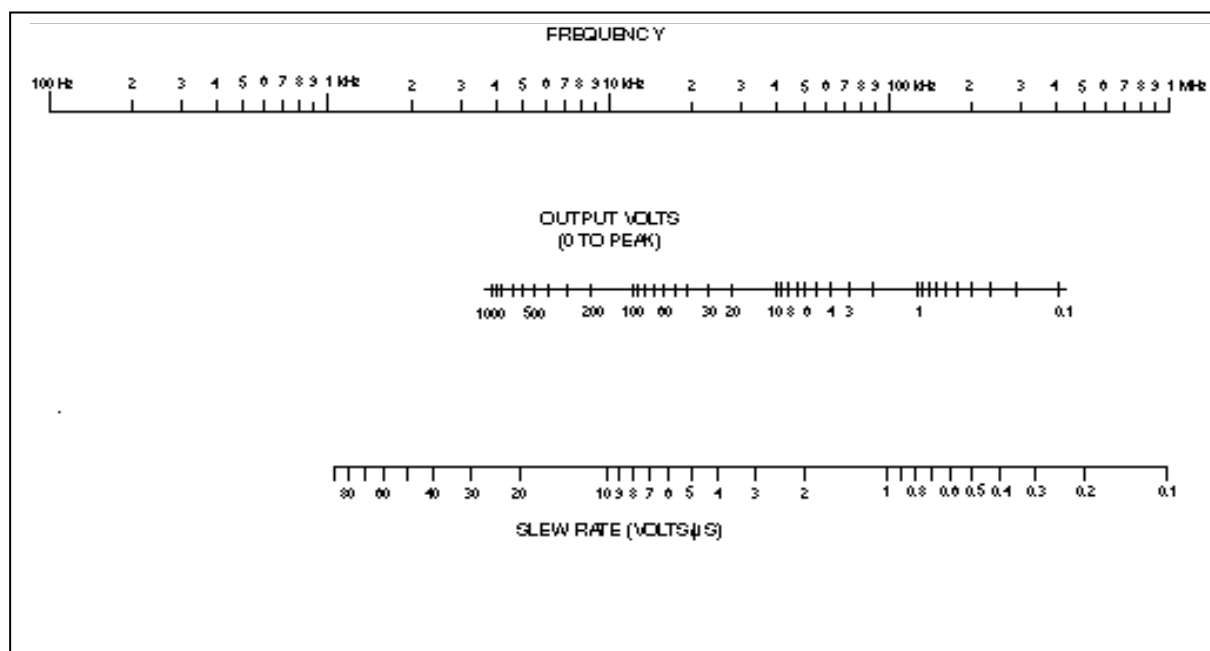
Minimální zatěžovací impedance doporučená výrobcem je uvedena v uživatelském manuálu. Doporučená minimální impedance pro modely **XD/XE-4000 a 6000 je 2,6 ohmů**. Pro modely **XD/XE-2500 jsou 2 ohmy** a pro modely **LC-2002 a 4004 jsou to 2 ohmy**.



## Slew Rate – Rychlost přeběhu

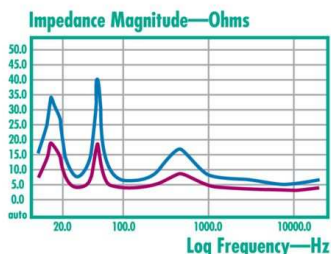
Čistě teoreticky by zesilovač měl být schopen vytvořit okamžitou a přesnou kopii vstupního signálu s určitým zesílením na svém výstupu. K tomu je potřeba, aby byl zesilovač schopen v co nejkratší době provést co největší změnu (nárůst) napětí. Tomuto jevu se říká rychlost přeběhu a je to vlastně maximální změna výstupního napětí za danou časovou jednotku. Udává se zpravidla ve voltech za mikrosekundu.

Čím vyšší kmitočet a vyšší amplituda zesílení (vyšší výstupní výkon zesilovače), tím vyšší nároky na rychlost přeběhu. Zesilovače by měly být konstruovány tak, aby pro požadované, neustále rostoucí výkony, byla rychlost přeběhu co nejvyšší. To zaručí, že na výstupu zesilovače bude přesná kopie vstupního signálu. Rychlost přeběhu nijak nesouvisí s impedancí připojených reproduktorů, je interaktivní s kmitočtem a amplitudou. Na připojeném nomogramu jsou tyto závislosti patrné.



## Impedance measurement on XE series      Měření impedance v zesilovačích řady XE

- the amp is calculating the impedance value from the current/voltage datas
  - some cases the speakers makes big shift in the current referred to the voice coil voltage
  - in some cases the amplifier may show lower value of speaker impedance that is supposed to show due to output power factor is pretty poor and unstable , this effect comes from the speaker and can especially occur with subwoofers.
  - 8 ohms speakers usually goes down to 3R and goes up to 50 Ohms. It depends on the frequency and box construction
- Zesilovač kalkuluje impedanci připojeného reproboxu nebo více reproboxů z poměrů napětí a proudu na výstupu.
  - V některých případech reproboxy způsobují velký posun fáze proudu vzhledem k napětí na kmitací cívce reproduktoru.
  - V některých případech může zesilovač ukazovat menší hodnoty impedance reproboxu než je předpokládané. To je způsobeno hodnotou účinníku (cos  $\phi$ ) na výstupu, která může být špatná a nestabilní. Tento efekt přichází ze strany reproduktorů a může se vyskytovat hlavně u subwooferů
  - 8 ohmový reprobox může v některých případech vykazovat impedance minima až 3 R a maxima až 50R. To záleží na frekvenci, konstrukci pasivního crossoveru nebo konstrukci a typu ozvučnice subwooferu.



Typické hodnoty impedance u subwooferů

- that's why we have some equalization in the math of way of measurement
  - we are calculating longer average of typical impedance not for just few cycles
  - in some cases (like double speaker in the common pump chamber) you could even see negative impedances!
  - in certain waveforms/frequencies the speaker could generate more energy what it consumes and there is an effect of the 'spring modulus' of the speaker box and air column, that loads the speaker membrane too..
  - some type of closed or partly closed boxes (even folded horns) could store significant energy mechanically just from the wall bending effects
  - in the most number of cases not all of the acoustical energy is perfectly radiated out from the speakers
- To jsou důvody, proč zesilovače používají určitý druh ekvalizace ve způsobu měření impedance.
  - Zesilovač proto kalkuluje z většího průměru typických impedancí a ne pouze z pár cyklů.
  - V některých případech ( zvláště u různých konstrukcí subwooferů) se může objevit až negativní impedance !
  - V určitých frekvencích a určitých časových průbězích signálů může reproduktor vygenerovat více energie, než spotřebovává a může docházet k tzv. pružinovému modulu reproduktorové ozvučnice a sloupce vzduchu nad membránou. To pak zatěžuje zpětně membránu reproduktoru a může generovat el. energii. Dalo by se vlastně říci, že v určitých momentech, kdy se zesilovač snaží co nejrychleji zastavit membránu reproduktoru ( rel. signál =0), proti této snaze zesilovače zpětně působí nejen setrvačné síly pohyblivé části reproduktoru (membrána, cívka.....), ale také nashromážděná energie z vibrací stěn boxů, oscilujícího vzduchu nad a pod membránou..)
  - Ve velké většině případů, není všechna akustická energie perfektně vyzářena ven z reproboxů.