

Elektronika alapjai 10. gyakorlat

A gyakorlaton megoldott feladatok

1. Feladat

A Power-over-Ethernet magát az UTP kábel érpárjait használja fel energiatovábbításra. Ez lehetséges, mivel az Ethernet fizikai szintjén differenciális a jelátvitel, az érpár egyenfeszültsége ebbe nem szól bele, mert az információt a két ér feszültségének különbsége hordozza. Az egyenfeszültségű komponens egy leválasztó transzformátorral a bemenetről leválasztják. (Ez PoE nélkül is így van.) Előnye, hogy egyszerűsíti a kábelezést, mert nem kell tápellátást kiépíteni, viszont az UTP kábelben vékony vezetékek találhatók, így jelentős a vezeték ellenállásán elszenvedett veszteség. Azért, hogy a kábel ellenállásán eső veszteséget csökkentsék, a PoE (legalábbis az aktív formája) 48V-os feszültséget használ, mert ebben az esetben ugyanazon teljesítményhez tartozó áramerősség kisebb, másrészt a 48V-os feszültség érintésvédelmi szempontból még alacsony. A meghajtott eszköz pedig egy DC/DC átalakítóval állítja elő a számára szükséges tápfeszültséget.

Egy 12W teljesítményű eszközt szeretnénk ethernetet keresztül ellátni. Az eszközig vezető UTP kábel hossza 50 méter, egy érpár ellenállása 50Ω/km.

- Határozzuk meg az energiaátvitel hatásfokát, ha az aktív PoE esetén 48V-os egyenfeszültséget használunk, a tápfeszültség továbbítása pedig 1-1 érpáron történik!
- A veszteséget csökkenthetjük, ha gigabites hálózatunk van és nem használjuk az UTP kábelt telefon továbbítására (ez egyre kevésbé szokásos), ekkor mind a 4 érpár rendelkezésre áll, azaz 2-2 érpárt használhatunk tápellátásra. Mekkora lesz ebben az esetben a hatásfok?
- Meg tudnánk-e ugyanezt valósítani passzív PoE-vel, 12V-os feszültség esetén?

Megoldás

- Először ki kell számolnunk a kábel ellenállását! Egy érpáron megyünk "oda", majd egy másik érpáron vissza, ez 100m hosszat jelent, azaz összesen $R=5\Omega$ soros ellenállást.



Ha I áram folyik, akkor az eszközre eső feszültség (az érpárok ellenállásait összevontuk)

$$V_D = V_{POE} - IR$$

A teljesítmény pedig:

$$P_D = V_D I = (V_{POE} - IR)I$$

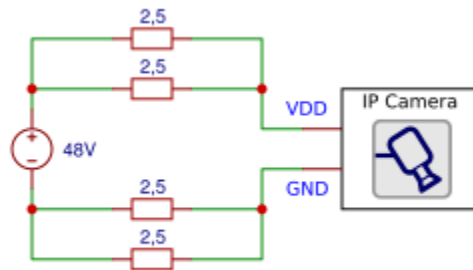
Behelyettesítve tehát a

$$12 = (48 - 5I)I$$

egyenletet kell megoldani, ami egy másodfokú egyenlet, két megoldással, amelyek közül a kisebbik áram a fizikailag reális, tehát $I=257\text{mA}$, ebben az esetben az eszköz feszültsége $46,7\text{V}$. Ez alapján kiszámítható az energiaátvitel hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_D}{P_{POE}} = \frac{V_D I}{V_{POE} I} = \frac{46,7}{48} = 97,3\%$$

B) Ebben az esetben a soros ellenállás feleződik, mivel 2-2 érpárt párhuzamosan kapcsoltunk.



Most a $12 = (48 - 2,5I)I$ Egyenletet kell megoldani, ekkor az eszközre $47,4\text{V}$ feszültség fog eljutni, a hatásfok pedig:

$$\eta = \frac{47,4}{48} = 98,7\%$$

C) (Ez egy tipikus otthoni helyzet, pl. egy nem PoE IP kamera meghajtása. Kell hozzá egy passzív PoE injektor, ami az eszköz tápegységének feszültségét az UTP kábelre teszi, illetve egy splitter, ami az eszköz oldalán leválasztja az egyenfeszültséget.)



Ha megpróbáljuk megoldani a módosított egyenletet:

$$P_D = V_D I = (V_{POE} - IR)I$$

$$12 = (12 - 5I)I$$

képzetes eredményt kapunk, azaz ez így nem működhet, ekkora teljesítményt nem tudunk átvinni ezzel a rendszerrel. Ha megpróbáljuk meghatározni az átvihető teljesítmény maximumát, akkor a teljesítmény egyenletének szélsőértéket keresessük, ami akkor van, ha az első derivált nulla:

$$\frac{\partial P_D}{\partial I} = V_{POE} - 2IR = 0$$

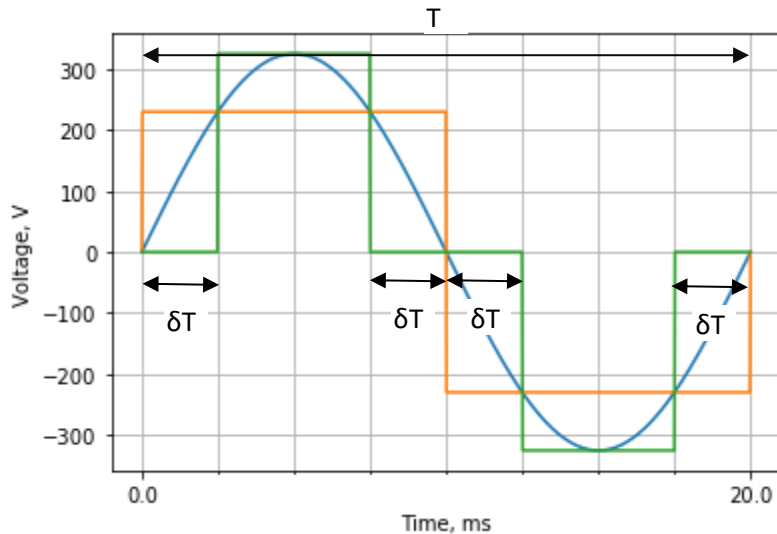
Azaz:

$$I = \frac{V_{POE}}{2R} = \frac{12}{10} = 1,2\text{A}$$

Ebben az esetben $7,2\text{W}$ vihető maximum át, és a hatásfok 50% . (látható, hogy nem véletlenül 48V -os az aktív PoE, a passzív PoE otthoni felhasználásra való...)

2. Feladat

Az olcsó inverterek az ábrán sárgával jelölt négyszögjelet, a kissé drágábbak a zölddel jelölt „módosított szinusz” (modified sine) jelet produkálják a kimenetükön. Határozzuk meg a feszültségszinteket és az ábrán látható időzítéseket úgy, hogy a váltakozó jel effektív értéke megegyezzen a 230V-os hálózati szinuszos feszültséggel!



Megoldás

Az effektív érték az az egyenfeszültség, amely egy ellenálláson ugyanakkora hőt hoz létre, mint a váltakozó feszültség. Ha a váltakozó feszültség időfüggvénye $V(t)$ periódusideje T , akkor

$$\frac{V_{EFF}^2 T}{R} = \int_0^T \frac{V^2(t)}{R} dt$$

Egyszerűsítve és átrendezve:

$$V_{EFF} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

A 230V a hálózati feszültség effektív értéke, ami a $\sqrt{2} \cdot 230V$ amplitúdójú szinuszos jelnek felel meg. (Ezt egyszerűbb megjegyezni, mint bizonyítani.)

Ha ugyanekkora effektív értékű négyszögjelet szeretnénk, akkor a négyszögjel amplitúdója szintén 230V kell, hogy legyen.

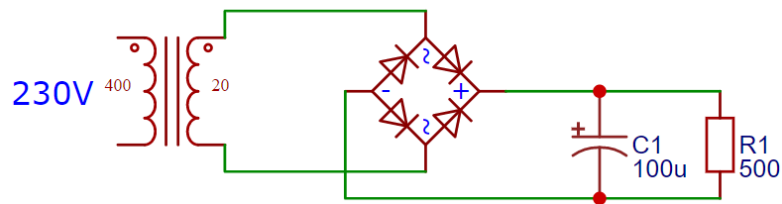
A módosított szinusz jel annyiban tér el a négyszögjeltől, hogy az ábrán jelölt δT késleltetésű a be és kikapcsolás, nagysága viszont megegyezik a csúcserővel. Azaz az integrál:

$$V_{EFF}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt = \frac{1}{T} \cdot 2 \cdot \int_{\delta T}^{\frac{T}{2} - \delta T} V_A^2 dt = \frac{1}{T} \cdot 2 \cdot \left(\frac{T}{2} - 2\delta T \right) \cdot 2V_{EFF}^2 = (2 - 8\delta)V_{EFF}^2$$

Ebből kiszámíthatjuk, hogy a kitöltési tényező $\delta = 1/8$.

3. Feladat

Az ábrán látható transzformátoros kapcsolásban a primer tekercs menetszáma 400, a szekunder tekercs menetszáma pedig 20.



- A) A nyitott diódát 0,7V feszültséggel közelítve mekkora lesz a kimeneti feszültség csúcsértéke?
- B) Adjon becslést a hullámosságra!
- C) Miért folyik nagy áram kezdetben, ha a rendszert a hálózathoz csatlakoztatjuk?

Megoldás

- A) A transzformátor szekunder feszültségét a menetszámokból kiszámíthatjuk.

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Ebből $V_S = \frac{N_S}{N_P} V_P = \frac{20}{400} \cdot 230 = 11,5V$ effektív feszültség adódik.

A csúcsfeszültség az effektív feszültség $\sqrt{2}$ -szerese, azaz $V_A = 16,3V$

A Graetz kapcsolásban kondenzátor a csúcsfeszültség – 2 dióda feszültségére töltődik fel, azaz

$$V_{OUT} = V_A - 2V_D = 16,3 - 2 \cdot 0,7 = 14,9V$$

- B) A hullámosságot becsljük úgy, hogy félperiódus múlva újra csúcsfeszültségre töltődik a kondenzátor, addig viszont kisül. Ez természetesen egy elég durva becslés. A kisülés időfüggvénye:

$$V_{OUT}(t) = V_0 e^{-t/\tau}$$

Ahol $\tau = RC = 500 \cdot 100\mu = 50ms$ az időállandó.

$$V_{OUT}\left(\frac{T}{2}\right) \approx V_0 e^{-\frac{T}{2\tau}}$$

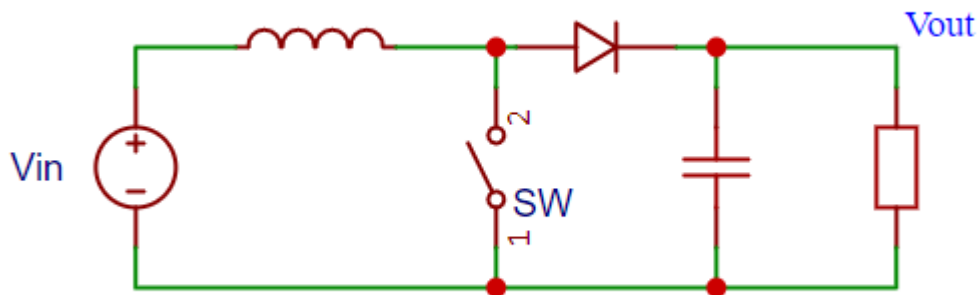
A hullámosság:

$$\Delta V_{OUT} = V_{OUT}(0) - V_{OUT}\left(\frac{T}{2}\right) = 2,7V$$

- C) A kondenzátor kezdetben energiamentes. Ha a váltakozó feszültség csúcsértékénél sikerül bekapcsolni, akkor a kezdeti áramot a transzformátor, a diódák és az összeköttetések ohmikus ellenállása korlátozza csak. Ez az áram nagy mértékben meghaladhatja a névleges áramot.

4. Feladat

Az előadáson megismert periodikus egyensúlyban vizsgálja meg az alábbi feszültségnövelő (BOOST) kapcsolást! A kapcsolót és a diódát ideálisnak tekintheti. Határozza meg a kimeneti feszültséget a kapcsolás kitöltési tényezőjének (δ) függvényében!



Megoldás

Semmi más nem kell tenni, mint alkalmazni azt a szabályt, hogy periodikus egyensúlyban a tekercs átlagos feszültsége 0. Ennek levezetése az előadásanyagban megtalálható.

Minden feszültség átlagértékét tekintjük. Ha a kapcsoló zárt, a tekercs feszültsége V_{IN} , ha a a kapcsoló nyitott, akkor pedig $V_{IN} - V_{OUT}$. A teljes periódusra tehát:

$$\delta V_{IN} + (1 - \delta)(V_{IN} - V_{OUT}) = 0$$

$$V_{IN} = (1 - \delta)V_{OUT}$$

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1 - \delta}$$

Ez az egyenlet azt sugallja, hogy a kimeneti feszültség tetszőlegesen nagy lehet, ha a kitöltési tényező elég nagy. Ez azonban nem igaz, a levezetésben nagyon sok egyszerűsítést tettünk.

5. Feladat

Az adott Zener diódás feszültségstabilizáló kapcsolásban a Zener letörési feszültsége 10V, differenciális ellenállása 10Ω , a stabilizálatlan V_{IN} tápfeszültség 15V, a kimenetet nem terheljük.

- A) határozza meg a kimenet feszültségét!
- B) mekkora a kimeneti feszültség ingadozása, ha a tápfeszültség ingadozása 1V?
- C) mekkora a kimeneti feszültségelnyomási tényező, dB-ben?

Megoldás

A Zener diódát helyettesítsük a letörési feszültségével és a differenciális ellenállásával!

Ekkor az áram:

$$I = \frac{V_{IN} - V_{BR}}{R + r_d}$$

A kimenet feszültsége pedig megegyezik a Zener diódán mérhető feszültséggel, azaz:

$$V_{OUT} = V_{BR} + r_d I = \frac{R}{R + r_d} V_{BR} + \frac{r_d}{R + r_d} V_{IN} = 10,05V$$

b) Az előző egyenlet deriválásával:

$$\frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} = \frac{r_d}{r_d + R} \approx \frac{r_d}{R}$$

mivel $r_d \ll R$. Tehát

$$\Delta V_{OUT} \approx \frac{r_d}{R} \Delta V_{IN} = 10mV$$

c) A feszültségelnyomási tényező ennek reciproka, decibelben kifejezve:

$$PSSR = 20 \lg \frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}} = 20 \lg \frac{R}{r_d} \approx 40dB$$

