

Negatív visszacsatolás hatása az erősítők nemlineáris torzítására

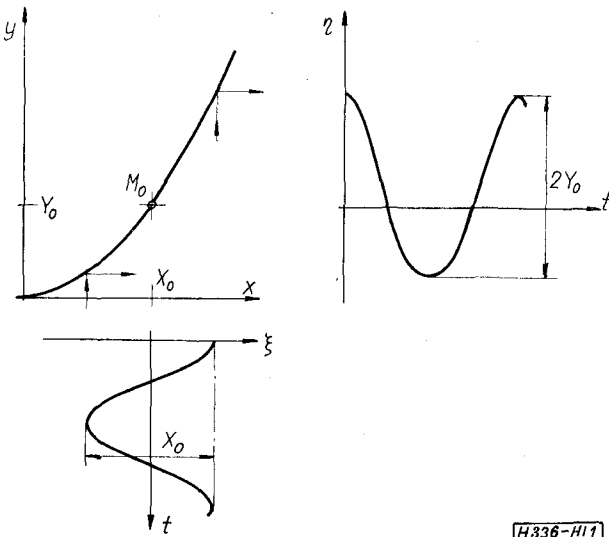
ETO 621.375.132.018.783

Közismert, hogy a negatív visszacsatolás csökkenti az erősítők nemlineáris torzítását [1], de a gyakorlat azt mutatja, hogy általában nem a visszacsatolás mértékével arányosan. Zavaró jelenségek is felléphetnek, különösen akkor, ha igen kis torzítás elérése céljából szoros visszacsatolást alkalmaznak. A következőkben szemléletes és egyszerű modell felhasználásával mennyiségileg is bemutatjuk e jelenségek forrását.

Torzítás

Az x be- és y kimeneti jel közötti nemlineáris összefüggés a nemlineáris torzítás eredete. Tegyük fel, hogy a vizsgált erősítő átviteli karakterisztikája négyzetes (1. ábra).

$$y = x^2, \quad (1)$$



1. ábra. Átvitel négyzetes karakterisztikán

azaz a kimeneti jel csak pozitív vagy nulla értékű lehet. Tételezzük fel továbbá, hogy a bemeneti jel szintén csak nem negatív értékeket vehet fel. A kimeneti jel nyugalmi értéke legyen Y_0 , ehhez

$$X_0 = +\sqrt{Y_0}$$

nagyságú jelet kell a bemenetre adni. A nyugalmi munkaponttól mért koordináták legyenek ξ és η , azaz:

$$\xi = x - X_0; \quad \eta = y - Y_0. \quad (2)$$

A közöttük érvényes összefüggés (1) felhasználásával:

$$\eta = 2X_0\xi + \xi^2, \quad (3)$$

amit az

$$\eta = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \xi^i$$

formájú általános hatványsorral egybevetve, az együtthatók értéke kiolvasható:

$$a_0 = 0,$$

$$a_1 = 2X_0,$$

$$a_2 = 1,$$

$$a_i = 0, \quad \text{ha } i > 2.$$

Az átvitel nemlineáris, mivel $a_2 \neq 0$, és a bemenetre

$$\xi = X \cos \omega t$$

alakú jelet alkalmazva, a kimeneten egyéb frekvenciájú összetevőket is tartalmazó jel jelenik meg:

$$\eta = \eta_0 + X_1 \cos \omega t + X_2 \cos 2\omega t,$$

ahol:

$$\eta_0 = \frac{a_2 X^2}{2},$$

$$X_1 = a_1 X,$$

$$X_2 = \frac{a_2 X^2}{2}.$$

A torzítási tényező értéke:

$$k_2 = \left| \frac{X_2}{X_1} \right| = \left| \frac{a_2 X}{2a_1} \right| = \frac{X}{4X_0}. \quad (4)$$

Teljes bemeneti kivezérlés, $X = X_0$ esetén $k_2 = 1/4$, ekkor a kimeneti jel csúcstól-csúcsig vett értéke $Y_{cs-cs} = 4Y_0$.

A gyakorlatban a kivezérést a kimeneten értelmezzük és Y_0 nyugalmi értéken az

$$Y_{cs-cs} = 2Y_0$$

nagyságú kimeneti jelet tekintjük teljes kivezérélnak [23]. Másodfokú karakterisztika esetén a csúcstól csúcsig vett jelátvitel lineáris, azaz ebben az esetben $X = X_0/2$, a torzítás (4)-ből

$$k_2 = 1/8,$$

a kimeneti jel pedig az egyfrekvenciás vezérlőjel kétszeresénél nagyobb frekvenciájú összetevőt nem tartalmaz.

Előtörzítés

Az erősítő negatív visszacsatolása közel torzítatlan kimeneti jelet eredményez, azaz:

$$\eta \cong Y \cos \omega t.$$

Kérdés, milyen jelet kell ehhez a bemenetre adni. Ennek meghatározása céljából előállítjuk (3) inverzét:

$$\xi = \frac{\eta}{2Y_0^{1/2}} - \frac{\eta^2}{8Y_0^{3/2}} + \frac{\eta^3}{16Y_0^{5/2}} \mp \dots \quad (5)$$

η magasabb hatványainak együtthatói csökkenő értékűek, de nem nullák. A

$$\xi = \sum_{j=0}^{\infty} A_j \eta^j$$

hatványsor első együtthatói:

$$\begin{aligned} A_0 &= 0, \\ A_1 &= 1/2 Y_0^{1/2}, \\ A_2 &= -1/8 Y_0^{3/2}, \\ A_3 &= 1/16 Y_0^{5/2}. \end{aligned}$$

A torzítatlan kimeneti jelet eredményező — előtorzított — bemeneti jel torzítási tényezői:

$$K_2 \cong \left| \frac{A_2 Y}{2A_1} \right|, \quad K_3 \cong \left| \frac{A_3 Y^2}{4A_1} \right|, \dots$$

amelyekből az előtorzítás:

$$K = \sqrt{K_2^2 + K_3^2 + \dots}$$

A fenti értékek közelítőek, ugyanis második, harmadik harmonikust eredményeznek a fel nem tüntetett magasabb fokú összetevők is, továbbá a harmadiknál nagyobb rendszámú harmonikusok is megjelennek. Másodfokú átviteli karakterisztika esetén mindkét elhanyagolt hatás a szükséges előtorzítás mértékét növeli.

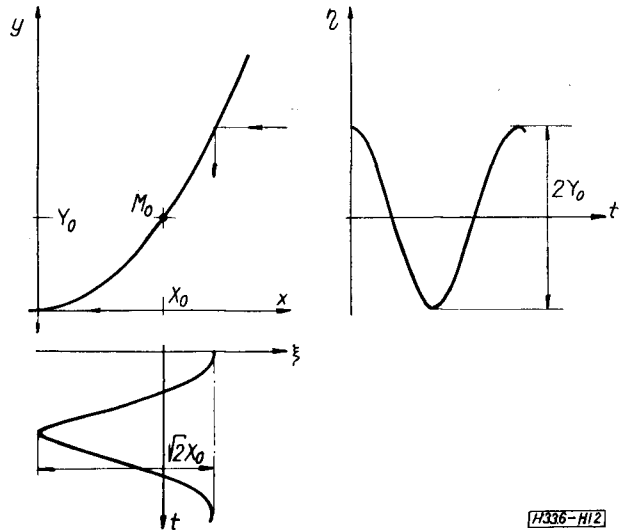
Jelen esetben $Y = Y_0$, azaz $Y_{cs-cs} = 2Y_0$ nagyságú kimeneti jelet feltételezve:

$$K_2 \cong 1/8; \quad K_3 \cong 1/24; \dots$$

Láthatóan, a szükséges előtorzítás mértéke nagyobb, mint ami a torzítatlan vezérléshez tartozó kimeneti jelen mérhető. Azonkívül a bemenetre nemcsak második harmonikust, hanem nagyobb frekvenciájú jel-összetevőket is kell adni, még másodfokú átviteli karakterisztika esetén is.

Jól mutatja az előtorzítás szükséges nagyobb mértékét (2. ábra) az Y_0 érték környezetében váltakozó Y_0 amplitúdójú kimeneti jel előállításához szükséges bemeneti jel csúcstól-csúcsig vett értéke, ami most $X_{cs-cs} = \sqrt{2}X_0$ -al egyenlő, szemben a torz, de azonos csúcstól-csúcsig vett értékű kimenethez tartozó X_0 értékkel.

A közel torzítatlan kimeneti jelet eredményező visszacsatolás esetén a kis jelszintű fokozatokon előtorzított jel halad keresztül. Rendszerint a végfokozat görbült átviteli karakterisztikája a tor-



2. ábra. Előtörzített átvitel négyzetes karakterisztikán

zítás forrása, és a vezérlő fokozatot úgy kell méretezni, hogy a torzítatlan kimenethez tartozó előtorzított vezérlőjelet szolgáltatni tudja.

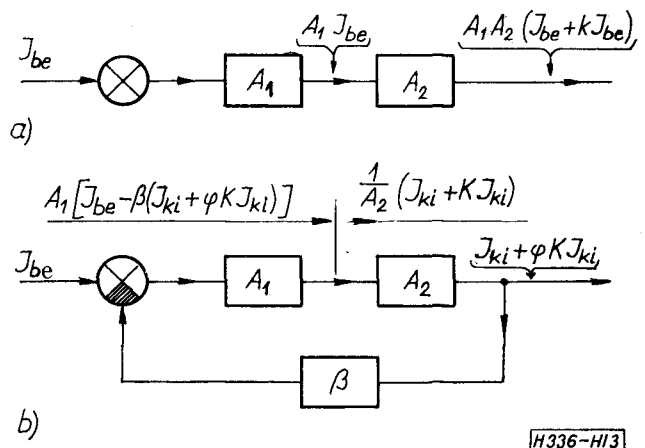
Visszacsatolt rendszer

Negatív visszacsatolással nem módosított átvitelű erősítők átvitelét a 3a ábra szemlélteti. A rendszer két részre bontható: A_1 a kisjelű, tehát elhanyagolható torzítású, A_2 pedig a nemlineáris átvitelű, nagyjelű erősítő. Az értelemszerűleg torzítatlan J_{be} jel az első erősítő kimenetén A_1 -gyel szorozva jelenik meg, míg a kimeneten megjelenik a torz jel, is:

$$J_{ki} = A_1 A_2 (J_{be} + kJ_{be})$$

Itt a kJ_{be} tényezővel nem egyszerűen szorzatot jeleltünk, hanem a torz, nemkívánatos összetevők megjelenésére utaltunk. Bár, ha J_{be} a jel effektív értéke, a kJ_{be} mennyiség $A_1 A_2$ -szerese pedig a kimeneten megjelenő felharmonikusok effektív értéke, a

$$\frac{kJ_{be}}{J_{be}}$$



3. ábra. Visszacsatolatlan (a) és negatív visszacsatolt (b) rendszer jelátvitele

viszony a k torzítási tényezőt adja. Ilyen értelmezésben a következőkben a k tényezővel való egybeírást szorzásnak fogjuk tekinteni.

A 3b ábra a visszacsatolt rendszert mutatja. A kimeneten a bemeneti jellel arányos J_{ki} mellett $\varphi K J_{ki}$ torz összetevő is megjelenik, amiről feltecssük, hogy kicsi, sőt gyakorlatilag elhanyagolható. A közel torzítatlan kimenethez az A_2 bemenetén

$$\frac{1}{A_2} (J_{ki} + K J_{ki}) \quad (6)$$

„nagyságú” előtorzított vezérlőjel szükséges. A feladatot a φ tényező meghatározása képezi, vajon az előtorzított jel torzítását milyen mértékben csökkenti a visszacsatolás, hiszen az eredő torzítási tényező:

$$k = \varphi K.$$

Az A_1 és A_2 erősítő csatlakozási pontján a bemenet felől érkező jel:

$$A_1 [J_{be} - \beta (J_{ki} + K J_{ki})], \quad (7)$$

amit (6)-tal egyenlővé téve, összefüggést kapunk φ meghatározására:

$$J_{be} - \beta (J_{ki} + \varphi K J_{ki}) = \frac{1}{A_1 A_2} (J_{ki} + K J_{ki}). \quad (8)$$

Kis jelszinten a $K J_{ki}$ és a $\varphi K J_{ki}$ tagok eltűnnek, azaz

$$J_{be} \cong J_{ki} \left(\frac{1}{A_1 A_2} + \beta \right),$$

ezt (8)-ba helyettesítve és J_{ki} -vel egyszerűsítve,

a φ tényező számolható:

$$\varphi = -\frac{1}{A_1 A_2 \beta}.$$

Vagyis a negatív előjeltől eltekintve, az erősítő kimenetén az előtorzítás az $A_1 A_2 \beta$ hurokerősítés arányában csökken. A példaként bemutatott másodfokú átviteli karakterisztikájú erősítőnk kimenetén tehát jellegre és mértékre nézve másként torzított jel jelenik meg, mint a visszacsatolatlan erősítő torzítása és a hurokerősítés ismerete alapján gondolnánk. A maradék torzítás általában nagyobb, sőt ha a vezérlő fokozat nem alkalmas a nagyobb amplitúdójú előtorzított vezérlőjel leadására, a közeli torzítatlan kimenőjel meg sem közelíthető, a kimeneti jelben túlvezérléssel analóg torzulás keletkezik, mielőtt a kimenet valóságos túlvezérlése megjelenne.

Bár frekvenciafüggő jelenségekkel nem kívánunk foglalkozni, feltétlenül megemlítendő, hogy a vezérlő fokozat túlvezérlése nagyobb jelfrekvencián fokozódik, ha terhelése kapacitív és a végfokozat vezérléséhez feszültségre van szükség. Az előtorzított feszültség magasabb harmonikus összetevőinek előállításához a frekvencia arányában nagyobb áram szükséges, amit a kivezérlő fokozat esetleg egyáltalán nem vagy csak jóval nagyobb torzítás árán tud szolgáltatni. A maradék torzítás tehát a frekvencia növekedésével általában jobban nő, mint ami a visszacsatolatlan erősítőn kimérhető volt.

I R O D A L O M

- [1] Bode, H. W.: Hálózatok és visszacsatolt erősítők tervezése Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1961.
[2] Dr. Házman I.: Elektronikai alapáramkörök. Budapest, Tankönyvkiadó, 1965.

A gazdasági élet nélkülözhetetlen információforrása

Új időpont



Felvilágosítás: Hungexpo Vásárképviselő, 1441 Budapest Pf. 44. Tel.: 227-659