

# Teljesítmény-illesztés nemlineáris, nagyfrekvenciás áramkörök esetén

Ladvánszky János  
HTE előadás, 2021.11.24.

# Az előadás vázlat

Az alapfeladat

Lineáris, dinamikus generátor

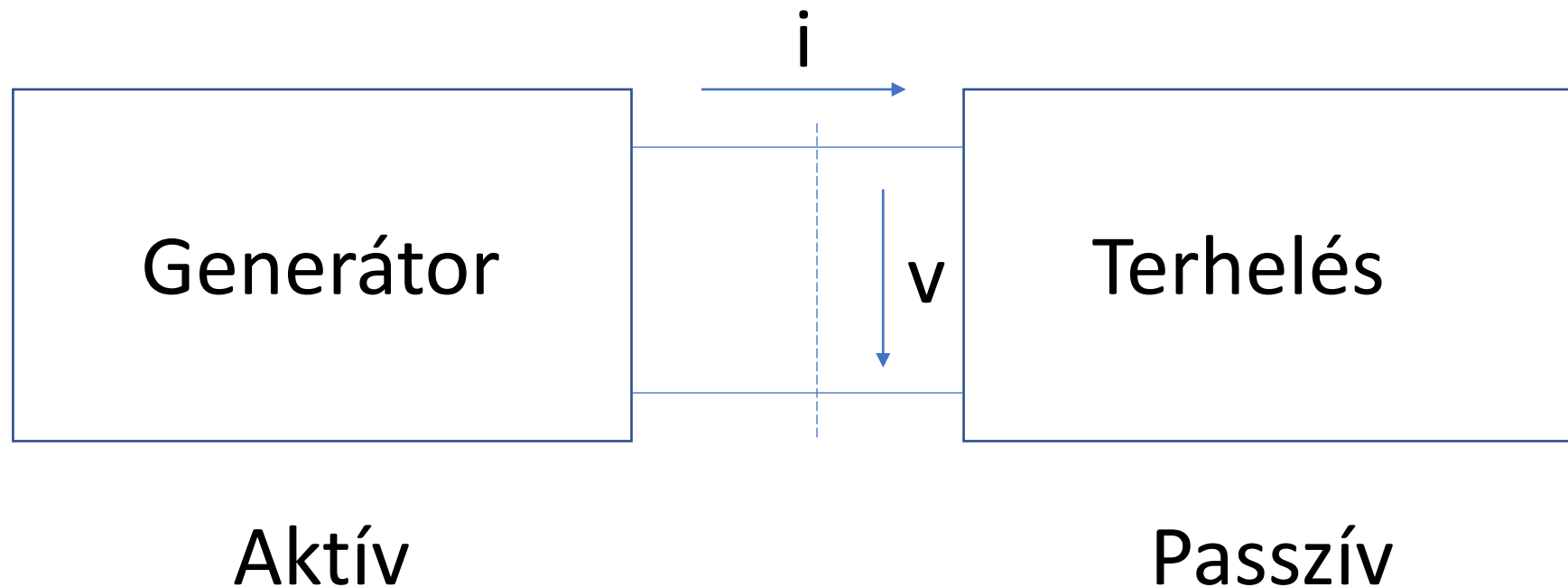
Nemlineáris, rezisztív generátor

Nemlineáris, hangolt generátor

Táblázat: Minden eset

Hivatkozás

## Az alapfeladat



Adott generátorhoz milyen max. teljesítményű terhelés tartozik?

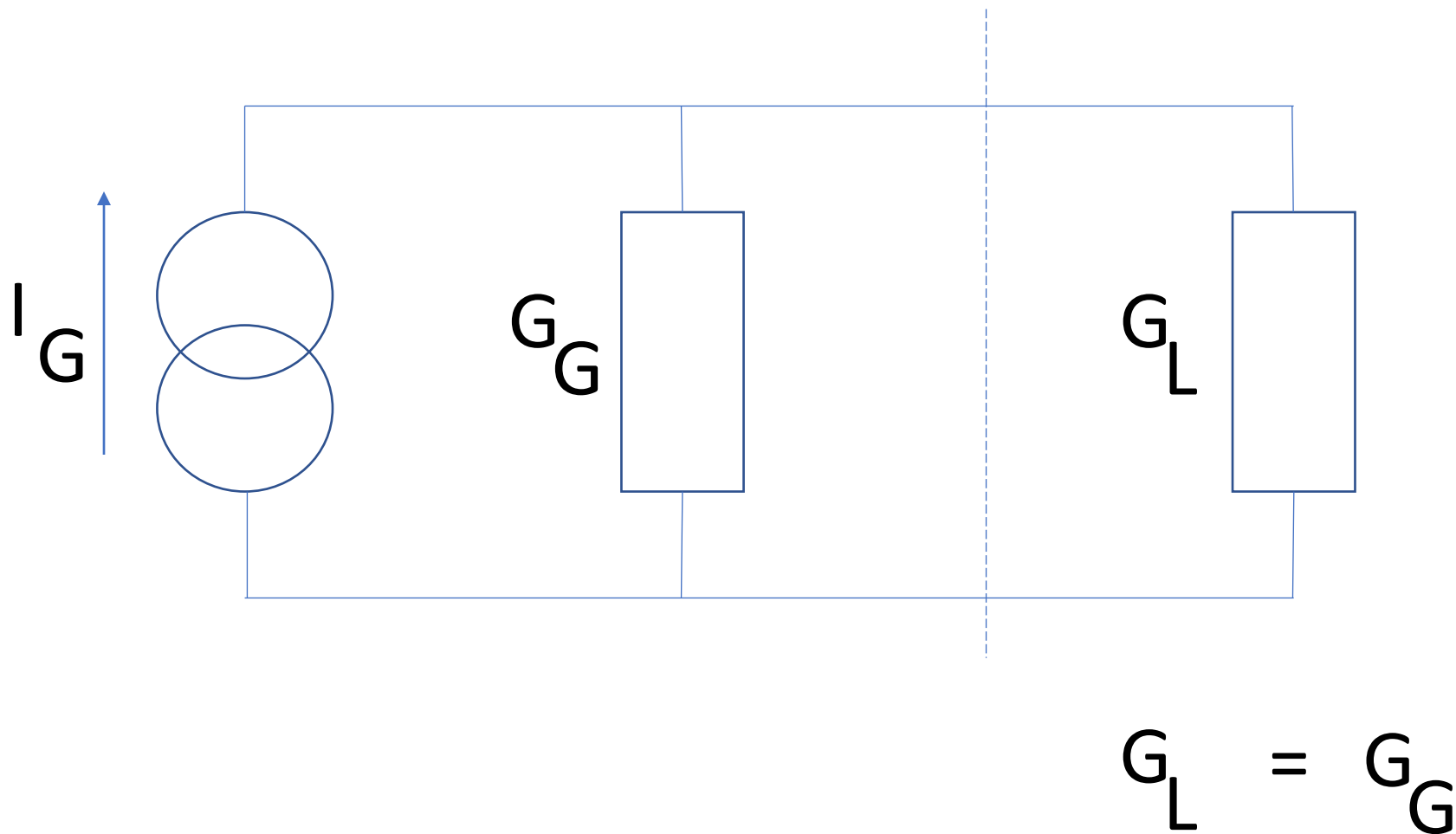
## Az alapfeladat

A generátor tartalmazhat:

- Független és vezérelt forrásokat
- Ellenállásokat, induktivitásokat, kapacitásokat,
- melyek lehetnek nemlineárisak is

A terhelés nem tartalmazhat független és vezérelt forrásokat.

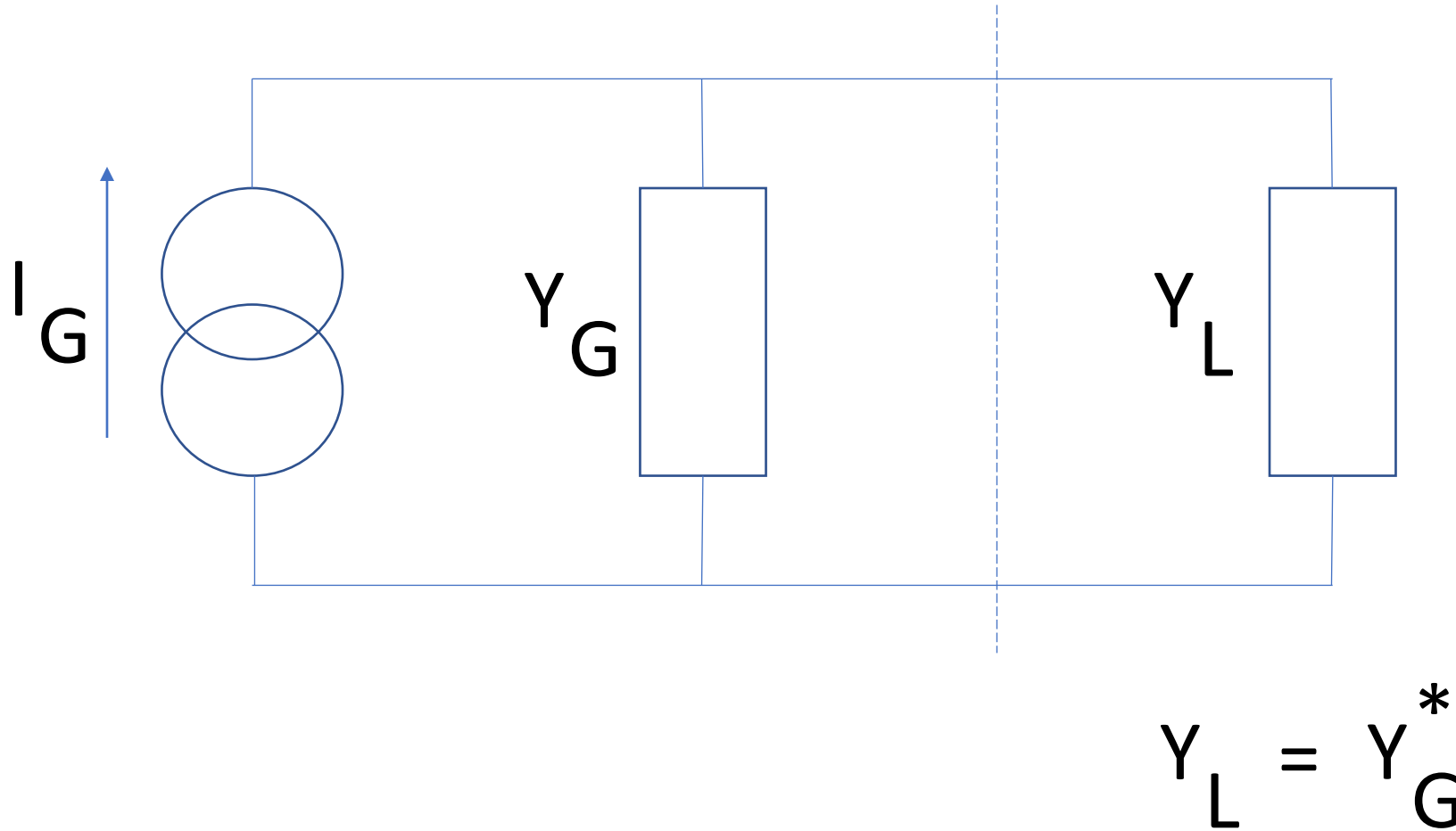
# Lineáris, rezisztív generátor



# Lineáris, rezisztív generátor, feltételek

- Bármilyen generátor áramnál
  - Globális maximum

# Lineáris, dinamikus generátor



# Lineáris, dinamikus generátor: Az eredmény kétféle származtatása

1. Felírjuk a terhelés teljesítményét, és deriváljuk a terhelés feszültsége szerint

Lokális maximum, minimum vagy inflexiós pont

A derivált zérus volta szükséges, de nem elégséges feltétel

2. Felírjuk a terhelés maximális teljesítményét, és megmutatjuk, hogy ez tényleg a maximum

Globális maximum



## Lineáris, dinamikus generátor

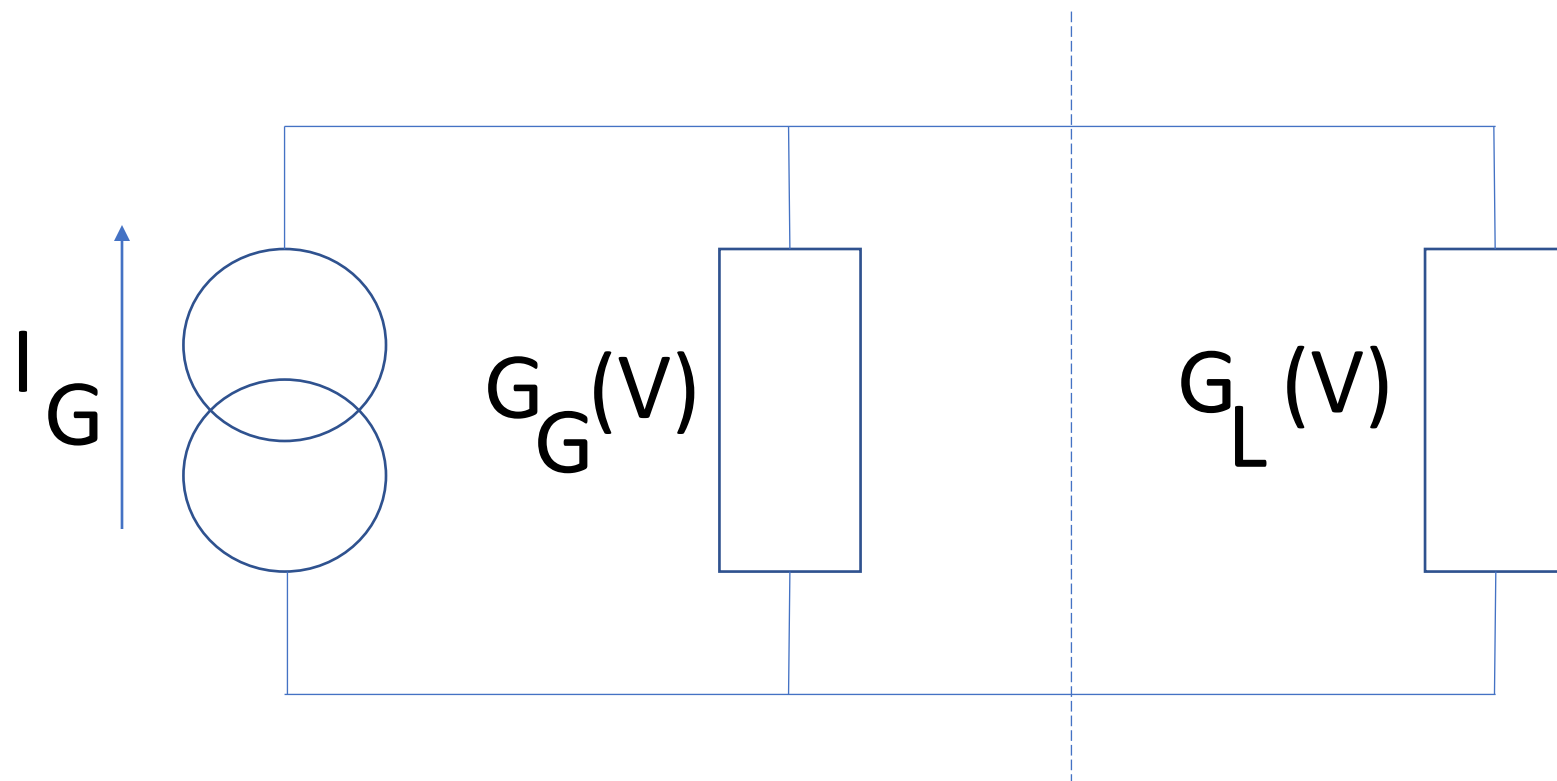
$$Y_L = Y_G^* \quad \omega \text{ tartomány}$$

$$Y_L(s) = Y_G(-s) \quad s \text{ tartomány}$$

$Y_L(s)$  nem kauzális, nem realizálható

Közelítés kauzális admittanciával: Széles sávú illesztés

# Nemlineáris, rezisztív generátor



$$G_L(V) = G_G(V) + V \frac{dG_G(V)}{dV}$$

Nemlineáris, rezisztív generátor, az eredmény származtatása

$$P = V(I_G - V G_G(V))$$

$$\frac{dP}{dV} = I_G - V G_G(V) - V \left( G_G(V) + V \frac{dG_G(V)}{dV} \right) = 0$$

$$I_L = V \left( G_G(V) + V \frac{dG_G(V)}{dV} \right)$$

$$G_L(V) = G_G(V) + V \frac{dG_G(V)}{dV}$$

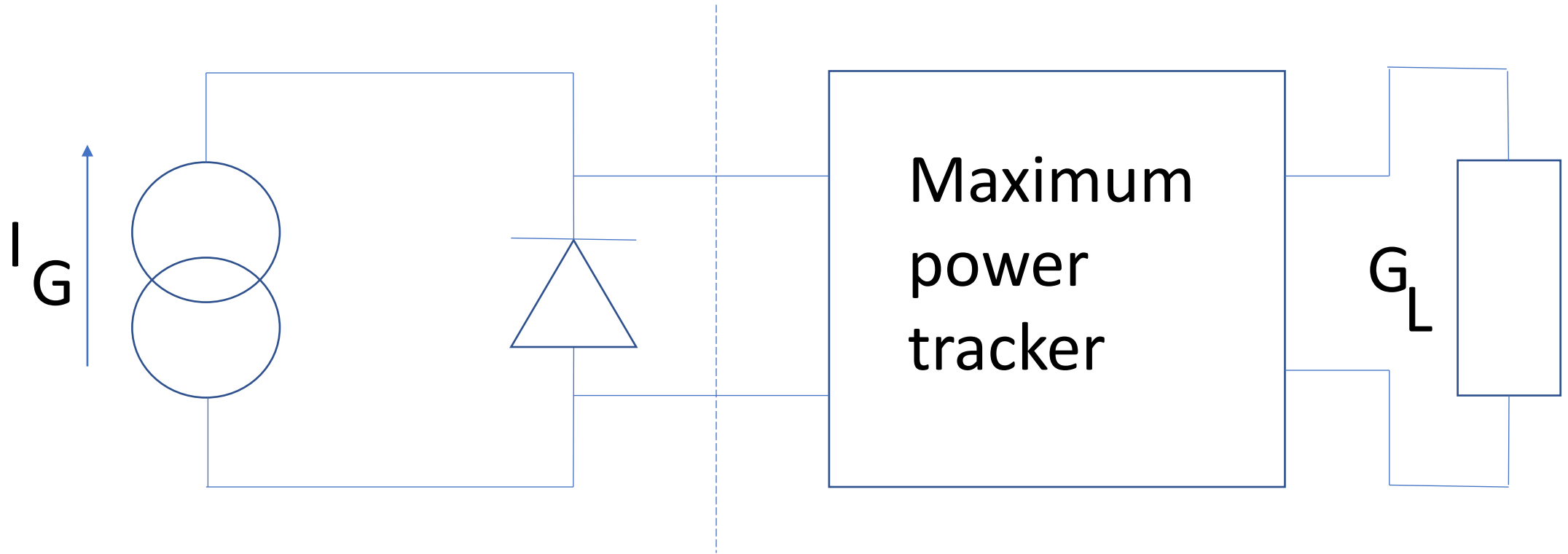
Nemlineáris, rezisztív generátor, feltételek

$G_G(V)$  passzív:  $V G_G(V) > 0$  minden pozitív  $V$  – re

A forrást terhelő áram feszültségfüggése  
szig. mon. növekvő legyen

# Nemlineáris, rezisztív generátor, példa

## Napelem teljesítményillesztése



## Nemlineáris, rezisztív generátor, feltétel

Milyen esetekben létezik a generátor Norton helyettesítő kapcsolása?

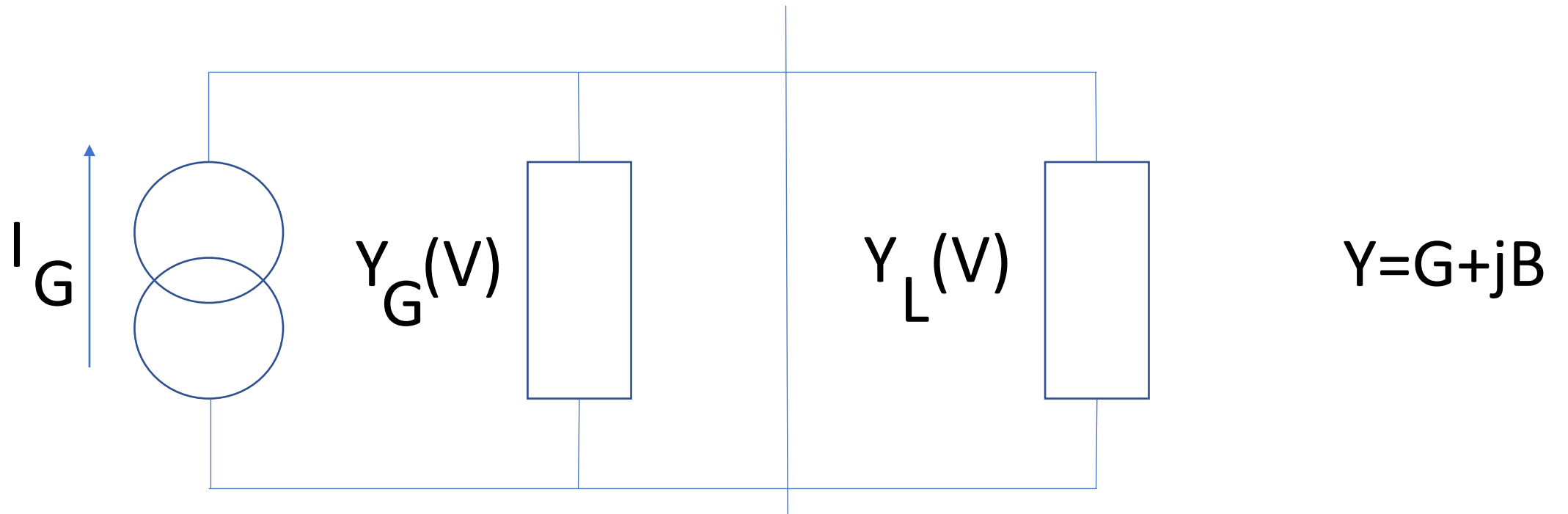
Az ekvivalencia egy lehetséges definíciója

Általában: reflexív, szimmetrikus, tranzitív

Erős és gyenge ekvivalencia

A tétel megfordítása: Adott nemlineáris terheléshez a generátor számítása

# Nemlineáris, hangolt generátor



$$G_L(V) = G_G(V) + V \frac{dG_G(V)}{dV}$$

$$B_L(V) = -B_G(V)$$

Nemlineáris, hangolt generátor, az eredmény származtatása

A generátor-kaput felbontjuk valós és képzetes részre

Erre a rezisztív kétkapura felírjuk a rezisztív eredményt

A levezetés megtalálható a kand. értekezésemben és a könyvemben



# Leírófüggvények

- Közelítő leírás
- A szinuszos gerjesztésre adott első harmonikus válasz és a gerjesztő amplitúdó hányadosa
- Lehet értelmezni áramok és feszültségek vagy hullámparaméterek esetén is
- Más harmonikusra is lehetséges, DC-re is
- Több kapu esetén is lehetséges
- Az admittancia leírófüggvény lineáris esetben a lineáris admittanciába megy át
- Felhasználása: Közelítő leírás, hangolt áramkörökben

Nemlineáris, hangolt generátor, hullámparaméterekkel

$$|\Gamma_L(b_L)| = |\Gamma(b_L)| + b_L \frac{d|\Gamma(b_L)|}{db_L}$$

$$\varphi_L(b_L) = -\varphi(b_L)$$

## Hullámparaméterek

$$a = \frac{v+Ri}{2\sqrt{R}} \text{ haladó}$$

$$b = \frac{v-Ri}{2\sqrt{R}} \text{ visszavert}$$

A nagyfrekvenciás teljesítmény áramlását fejezi ki

$$P = |a|^2 - |b|^2$$

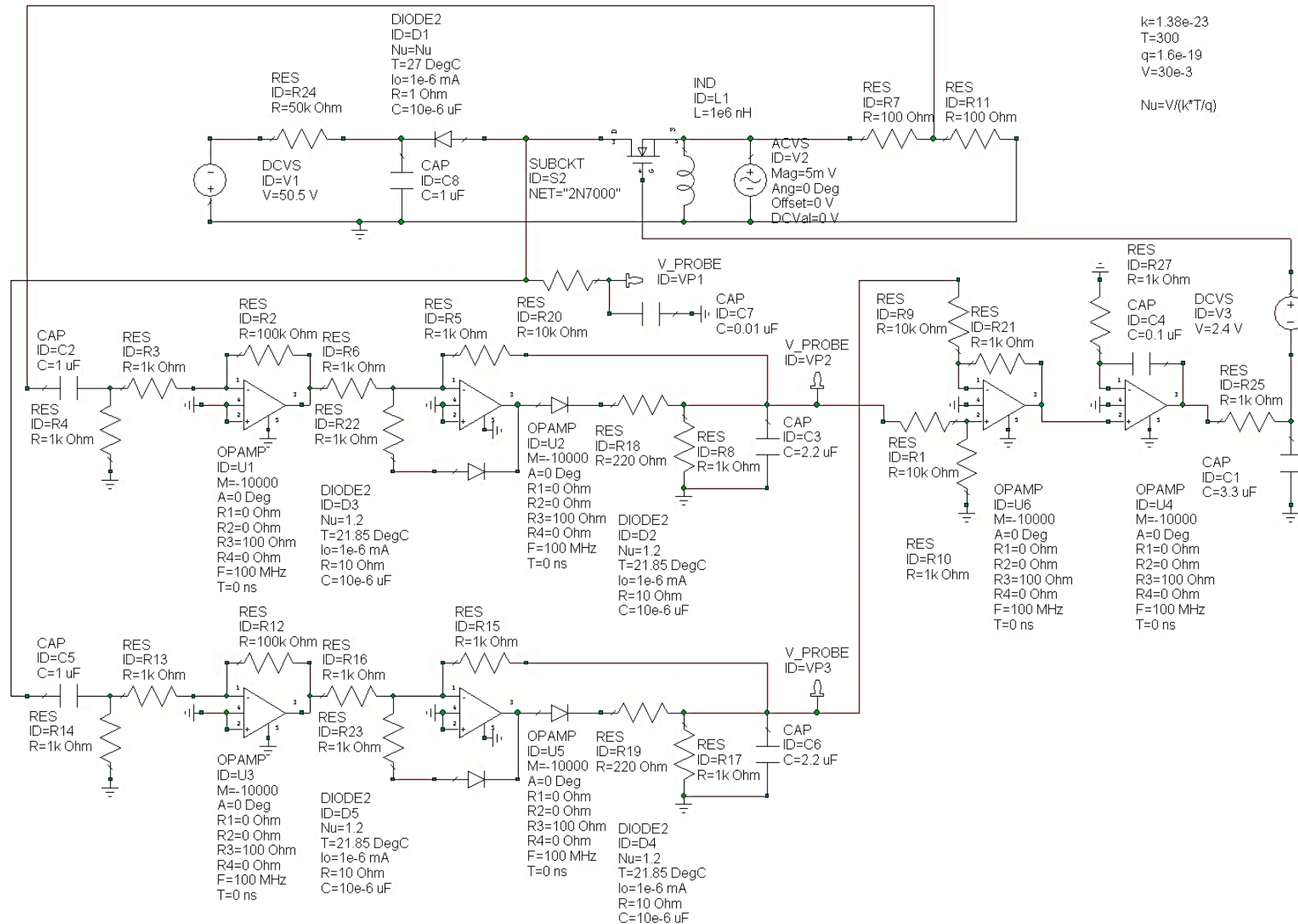
Nemlineáris, hangolt generátor, hullámparaméterekkel, származtatás

Az admittancia-leírófüggvényekre megadott eredményt  
transzformáljuk a  $v,i$  tartományból az  $a,b$  tartományba

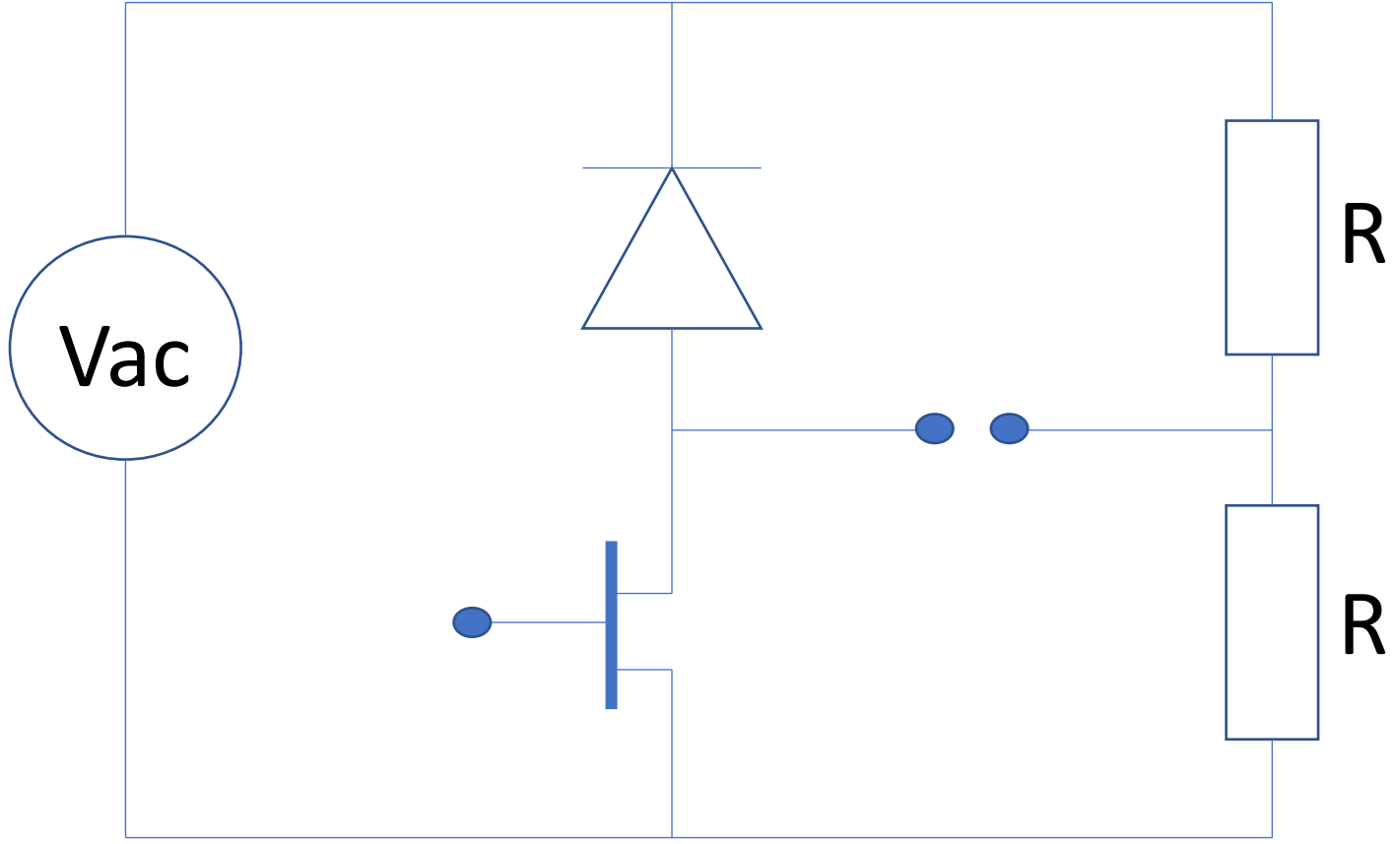
# Példák

1. Dióda termikus feszültségének közvetlen mérése
2. A dinamikus nemlineáris formula kísérleti igazolása

# Dióda termikus feszültségének közvetlen mérése



# Nemlineáris Wheatstone híd



$$V_{ac} \ll V_T$$

## A dinamikus nemlineáris formula kísérleti igazolása

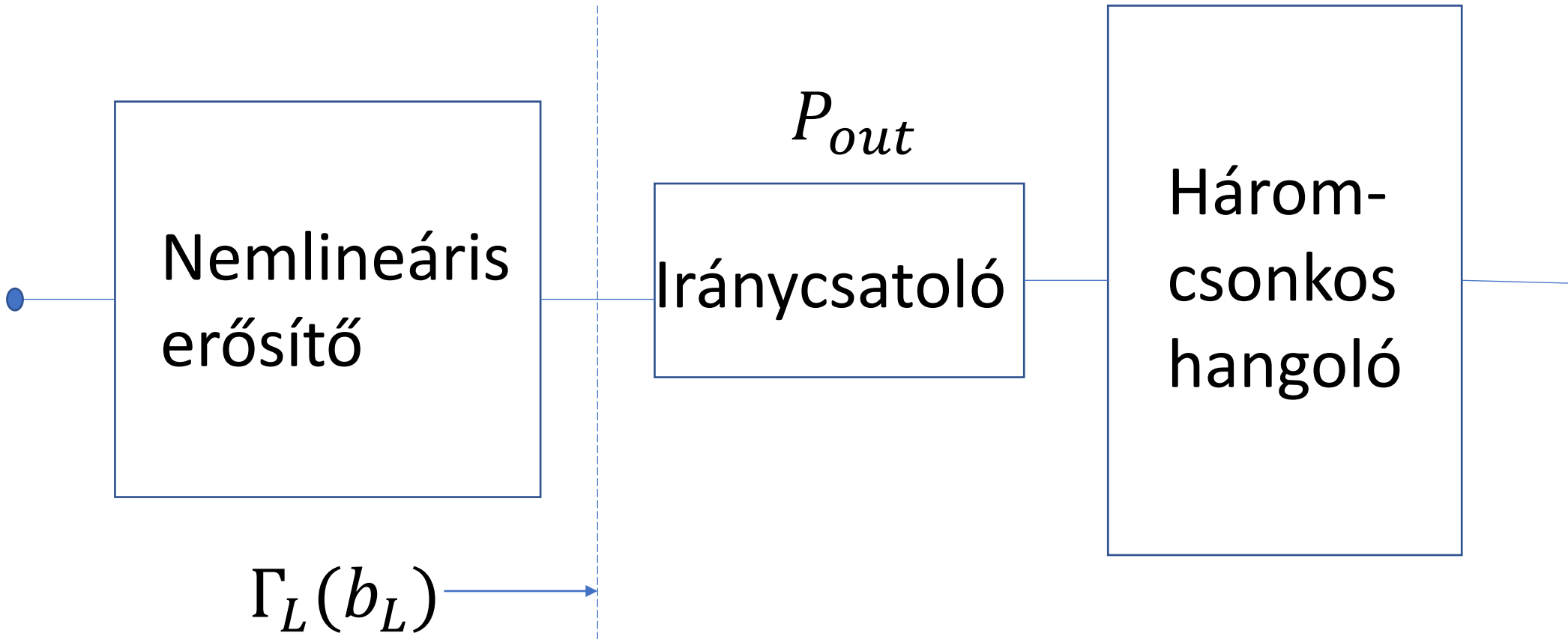
$$|\Gamma_L(b_L)| = |\Gamma(b_L)| + b_L \frac{d|\Gamma(b_L)|}{db_L}$$

$$\varphi_L(b_L) = -\varphi(b_L)$$

1.  $\Gamma(b_L)$  mérése
2.  $\Gamma_L(b_L)$  meghatározása a formula szerint
3.  $\Gamma_L(b_L)$  mérése
4. Egyezés vizsgálata



# $\Gamma_L(b_L)$ mérése



SPRINGER BRIEFS IN  
ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

János Ladvánszky

# Theory of Power Matching

 Springer

ISBN 978-3-030-16630-4

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-16631-1>

2018

## Záró megjegyzések

A teljesítmény-illesztés az áramkörök elméletének egyik alapproblémája

Pl. az S-paraméterek a teljesítmény-illesztéstől való eltérésként vannak definiálva

Szoros kapcsolat alapvető tulajdonságokkal, pl. kauzalitás, realizálhatóság

Az összes eset megoldása ismert

Alapfeltételek	tartomány	A generátor karakterisztikája	Az optimális terhelés karakterisztikája		Jelölések	Hivatkozások
Lineáris generátor	t	$i = i_S - h * v$	$i_L = h_L * v_L$	$h_L =_I h_I$	$h_1$ : elsőrendű magfüggvény	[Rohrer65] <sup>1</sup>
	s	$I = I_S - Y(s)V$	$I_L = Y_L(s)V$	$Y_L(s) = Y(-s)$	$Y(s)$ : admittancia	[Rohrer68] <sup>1</sup>
Nemlineáris rezisztív generátor	t s $\omega$	$i = i_S - f(v)$	$i_L = g(v_L)$	$g(v_L) = f'(v_L)v_L$	$f' = \frac{df}{dv}$	[Wyatt83B]
Kis nemlinearitású generátor	t	$i = i_S - \sum_{k=1}^N h_k * \begin{pmatrix} 1 & \dots & k \\ v, \dots & v \end{pmatrix}$	$i_L = \sum_{k=1}^N h_{Lk} * \begin{pmatrix} 1 & \dots & k \\ v_L, \dots & v_L \end{pmatrix}$	$h_{Lk} = \sum_{m=1}^k h_k$	$h_k$ : k-adrendű magfüggvény	jelen értekezés
	s	$I = I_S - \sum_{k=1}^N H_k \prod_{m=1}^k V_m$	$I_L = \sum_{k=1}^N H_{Lk} \prod_{m=1}^k V_{Lm}$	$H_{Lk} = \sum_{m=1}^k H_k$	$H_k$ : k-adrendű transzfer függvény	jelen értekezés
Hangolt nemlineáris generátor <sup>2</sup>	$\omega$	$I = I_S - V[G(V) + jB(V)]$	$I_L = V_L[G_L(V_L) + jB_L(V_L)]$	$G_L(V_L) = G(V_L) + V_L \left. \frac{dG(V)}{dV} \right _{V=V_L}$ $B_L(V_L) = -B(V_L)$	$G(V) + jB(V)$ : admittancia leírófüggvény	[Ladvánszky87]
	$\omega$	$a = a_S - b \Gamma(b) e^{j\varphi(b)}$	$b_L = a_L \Gamma_L(b_L) e^{j\varphi_L(b_L)}$	$ \Gamma_L(b_L)  =  \Gamma(b_L)  + b_L \left. \frac{d \Gamma(b) }{db} \right _{b=b_L}$ $\varphi_L(b_L) = -\varphi(b_L)$	a, b : hullámparaméterek $\Gamma(b)$ : reflexiós leírófüggvény	[Ladvánszky87]
Általános nemlineáris generátor	t	$i = i_S - f(v)$	$i_L = g(V_L)$	$g(v_L) = [Df(v)]^{adj} \Big _{v=v_L} v_L$	D : Gateaux differenciál-operátor adj : adjungált operátor	[Wyatt83A]

<sup>1</sup> Ezek a cikkek az impedancia-formalizmust alkalmazzák. <sup>2</sup> Egy fázisszög szabadon választható mindkét esetben. Ezért  $V_L$  és  $b_L$  fázisszögét nullának választjuk.

3. ábra. A teljesítmény-illesztési formulák áttekintése

# Köszönetnyilvánítás

Dr. Baranyi Andrásnak,  
Prof. Dr. Berceli Tibornak,  
Prof. Dr. Lajtha Györgynek,  
Dr. Simonyi Ernőnek,  
Dr. Schmideg Ivánnak.

Köszönöm a figyelmet.