

Jokainen piirilevyjohdinhan on samalla myös siirtolinja. Siirtolinjan emittoivaa vaikutusta voidaan merkittävästi pienentää sovittamalla siirtolinja.

Tällä on merkitystä silloin, kun johtimen pituus ylittää aallonpituuden kahdeskymmenesosan. Merkitys korostuu vielä suuremmaksi, jos johtimen pituus on aallonpituuden neljäsosa tai sen monikerta, tai johtimen pituus ylittää aallonpituuden. [Lisätietoa aiheesta tästä linkistä.](#)

## PIIRILEVYJOHTIMEN AALTOIMPEDANSSIN MÄÄRITTÄMINEN

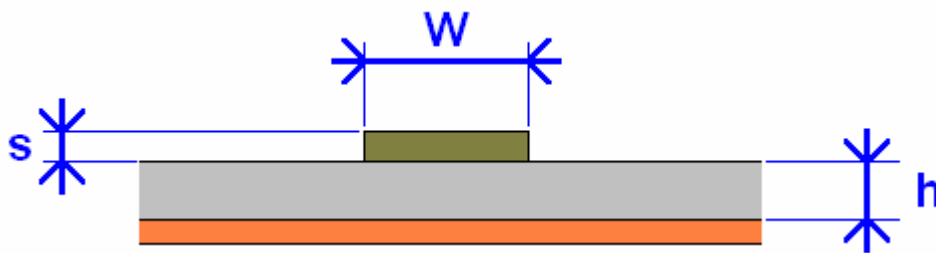
Siirtolinjan, kuten myös piirilevyjohtimen, aaltoimpedanssi määräytyy johtimen induktanssin ja kapasitanssin suhteena ( *kaava 1* ) mukaisesti :

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad ( 1 )$$

Piirilevyjohtimen impedanssi voidaan määritellä allaolevien määritysten mukaisesti:

- Referenssitaso on signaaliin nähden kiinteä jännitetaso, joka yleensä on maataso tai käyttöjännitetaso
- Kuvissa ja kaavoissa:
  - $Z_0$  = Johtimen impedanssi
  - $s$  = Johtimen korkeus ( = Piirilevykuparin paksuus )
  - $W$  = Johtimen leveys
  - $h$  = Eristekerroksen paksuus
  - $\epsilon_R$  = Suhteellinen permittiivisyys
    - Käytetyimmän piirilevymateriaalin, FR4:n suhteellinen permittiivisyys ,  $\epsilon_r \approx 4.5$

- Microstrip ( Mikroliuskajohdin )
  - Johtimella on yksi referenssitaso ( *Kaava 2* )

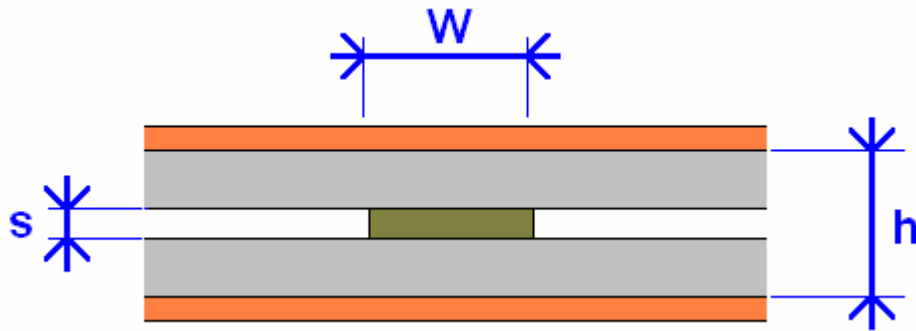


$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_R + 1,41}} \ln \left( \frac{5,98 h}{0,8W + s} \right) \quad ( \text{Ohm} ) \quad ( 2 )$$

- Piirilevyjohtimen impedanssiin voidaan vaikuttaa johtimen leveyttä muuttamalla. ( *kaava 3* ) ( Johdettu kaavasta 2 )

$$W = 7,475 h \left( \frac{1}{e^{\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_r + 1,41}}{87}}} - 0,167 \frac{s}{h} \right) \quad ( \text{m} ) \quad ( 3 )$$

- Stripline (Luiskajohdin)
- Johdin on kahden referenssitason välissä (kaava 4)



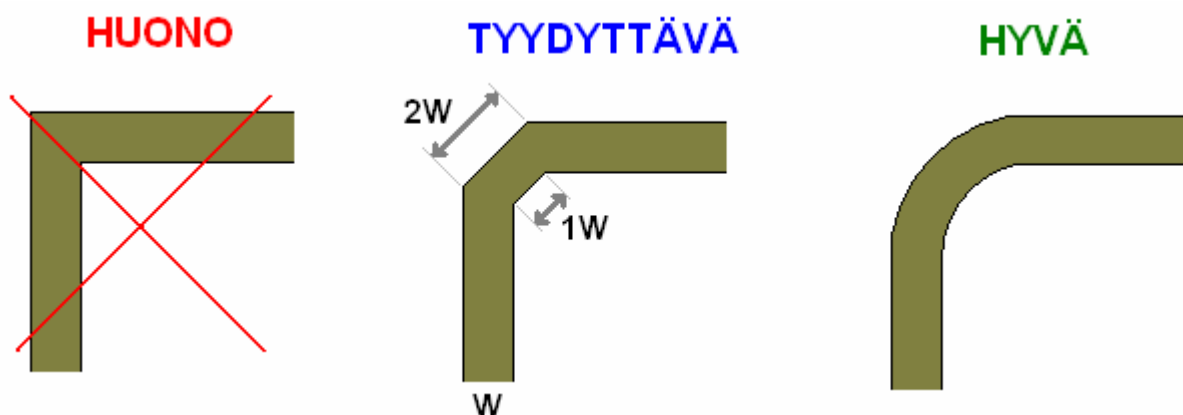
$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_R}} \ln \left( \frac{4h}{0,67\pi W \left( 0,8 + \frac{s}{W} \right)} \right) \quad (\text{ohm}) \quad (4)$$

- Piirilevyjohtimen impedanssiin voidaan vaikuttaa johtimen leveyttä muuttamalla. (kaava 5 ja 6) (Johdettu kaavasta 4)

$$W = \frac{h}{0,134\pi} \left( \frac{1}{e^{\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_R}}{60}}} - 0,168\pi \frac{s}{h} \right) \quad (\text{m}) \quad (5)$$

$$W = 2,38h \left( \frac{1}{e^{\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_R}}{60}}} - 0,528 \frac{s}{h} \right) \quad (\text{m}) \quad (6)$$

- Piirilevyn läpiviennit aiheuttavat aina impedanssimuutoksen läpivientikohdassa  
➔ Läpivientejä tulee siirtolinjoissa välttää
- Johtimen terävät kulmat aiheuttavat myös impedanssimuutoksen  
➔ Johtimen kulmat tulee pyöristää



# PÄÄTESOVITUKSIEN MUODOSTAMINEN

## HEIJASTUSKERROIN

Jos siirtolinjan sovitus ei ole oikea, palaa osa lähetetystä tehosta takaisin ( ei siirry kuormaan ). Oikea sovitus tarkoittaa sitä, että koko lähetetty energia siirtyy kuormaan. Tällöin lähteen, siirtolinjan ja kuorman impedanssi on yhtäsuuri.

Kaapeli-impedanssi (  $Z_0$  ):

Heijastuskerroin (  $r$  ) :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

*Esimerkki:*

Siirtolinjan impedanssi(  $Z_0$  ) on  $75 \Omega$ . Kuorman impedanssi (  $Z_L$  ) on  $50 \Omega$ . Kuinka suuri osa lähetetystä energiasta palaa takaisin:

$$r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{50 \Omega - 75 \Omega}{50 \Omega + 75 \Omega} = -0,20$$

**Vastaus:**  $0,20 = 20 \%$

## ANALOGINEN SIIRTOLINJA

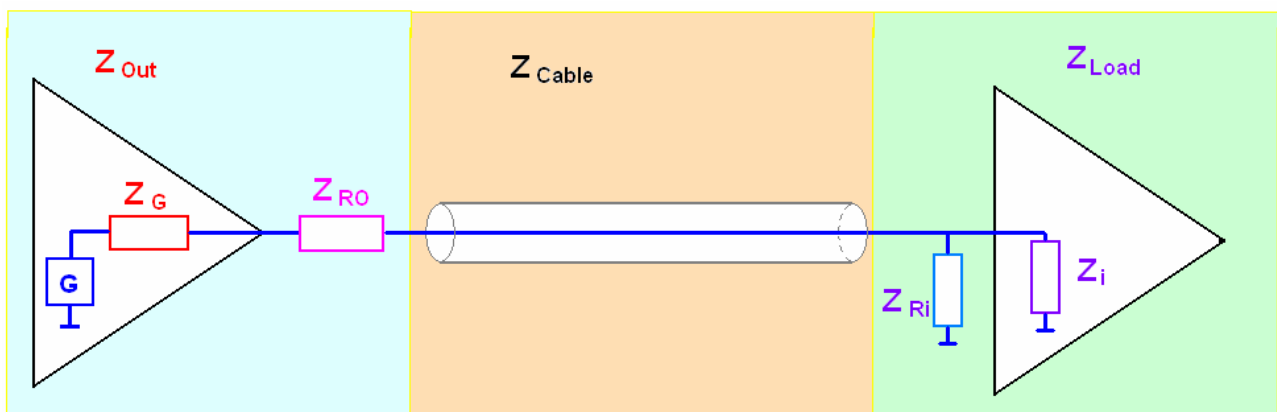
Analogisignaalin siirrossa impedanssitasojen sovitukset vaaditaan jo signaalin vääristymienkin välttämiseksi.

Analoginen korkeataajuinen signaali on ( lähes poikkeuksetta ) vaihtojännitettä.

Joissain erikoissovelluksissa ( esim. antenniverkot ) voidaan esim. käyttöjännite siirtää suurtaajuussignaalin mukana. Tällöinkin informaatio on vaihtosuure, josta tasajännitekomponentti on helppo suodattaa pois. Tällöinkin sovituksien tulee olla oikeat.

Analogisen siirtolinjan sovituksessa sekä lähtöimpedanssi, kaapeli-impedanssi sekä tuloimpedanssi ovat sovitettut keskenään.

Analogisten siirtolinjojen sovitusimpedansseja ( yleensä vastuksia ) määritettäessä tulee ottaa huomioon myös lähteen lähtöimpedanssi (  $Z_G$  ) ja tulon tuloimpedanssi (  $Z_i$  ).



*Kuva: Siirtolinja sovitusimpedansseineen*

## DIGITAALINEN SIIRTOLINJA

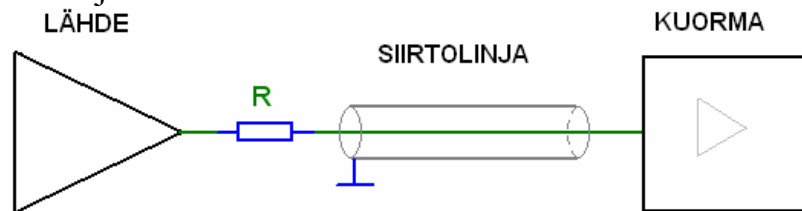
Digitaalitekniikassa sovituksia ei perinteisesti ole pidetty tärkeinä. EMC –määräykset yhdistettyinä pienempiin logiikkajännitteisiin, suurempiin impedanssitasoihin ( = pienet virrat ) ja nopeampiin siirtotaajuuksiin ovat kuitenkin lisänneet vaatimuksia käsitellä myös digitaalisignaalien siirtoa siirtolinjavaatimusten mukaisesti.

Miksi analogisten siirtolinjojen malli ei sellaisenaan sovellu digitaalitekniikkaan:

- Lähteen sovitusimpedanssiin jäisi puolet lähtöjännitteestä -> Loogiset tasot !
- Digitaalisignaali tasajännitettä -> Varsinkin ”1” –tilassa tehonkulutus nousisi merkittävästi.

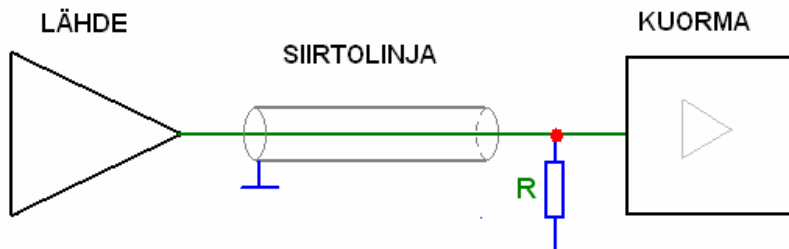
Seuraavaksi esitetään muutama sovitusmalli. Sovitusmallit ovat tarkoitettu digitaalisignaalien sovitukseen. Malleja voi luonnollisesti soveltaa myös analogisignaalien siirtoon, mutta täydellistä sovitusta näillä ei saa.

- Sovitus sarjavastuksen avulla



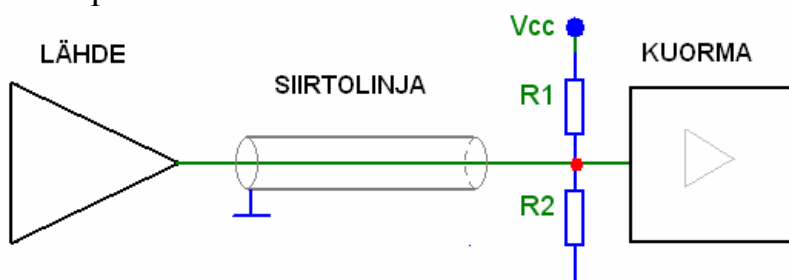
Edut ja haitat:  
+ Ei lisää tehonkulutusta  
- Lisää viivettä

- Sovitus rinnakkaisvastuksella



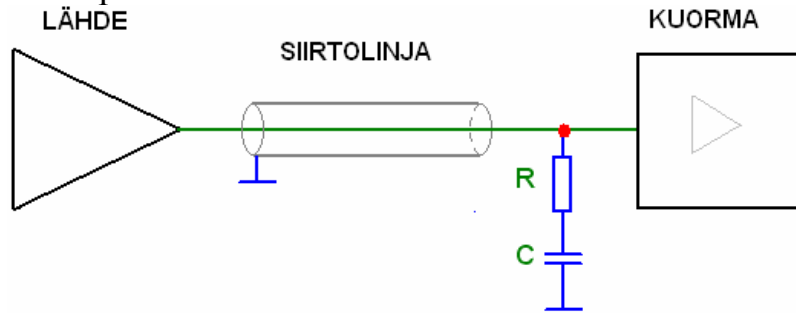
Edut ja haitat:  
+ Yksinkertainen rakenne  
- Lisää tehonkulutusta merkittävästi varsinkin ”1” -tilassa

- Thevenin –pääte



Edut ja haitat:  
+ Symmetrinen kuorma  
- Lisää tehonkulutusta merkittävästi

- Vaihtovirtapääte

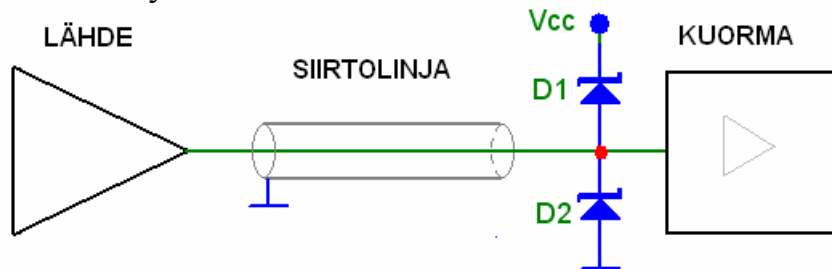


- Vaihtovirtapäätteessä kondensaattori on signaalitaajuuteen nähden suuri ( $X_c \approx 0$ ). Täten sovitusimpedanssin määrää vastus. Kytkeä ei kuitenkaan vie virtaa lepotilassa, mutta toimii sovituskuormana muutostilanteissa.

Edut ja haitat:

- + Kuluttaa tehoa vain muutostilanteissa
- Vaatii kondensaattorin ( Vie tilaa )

- Sovitus schottky –diodeilla



- Schottky- päätteessä schottky diodit toimivat kahdella tavalla:
  1. Schottky –diodit leikkaavat ( epäsovituksesta aiheutuvat ) jännitepiikit, jotka ylittävät piirin käyttöjännitteet. Tämä sekä vaimentaa värähtelyitä, että suojaa piirin tuloja ylijännitteiltä.
  2. Schottky –diodit toimivat impedanssikuormana ( Niissäkin on kapasitanssia ja dynaamista resistanssia ) siirtolinjan päätteenä.

## SOVITUSMENETELMIEN VERTAILU :

	Sarjavastus	Rinnakkais- vastus	Thevenin- pääte	Vaihtovirta- pääte	Schottky- pääte
Tehonkulutuslisä ?	EI	SUURI ja EPÄSYMM.	SUURI	PIENI	HYVIN PIENI
Viivelisä ?	KYLLÄ	EI	EI	EI	EI
Komponenttien lukumäärä	1	1	2	2	2 ( 1 )

Linkit: [Referenssitason muodostaminen ja johtimen kulmien pyöristäminen PADS PowerPCB –ohjelmassa](#)