

EREN
KARACAN

FMY-WEB.GITHUB.IO

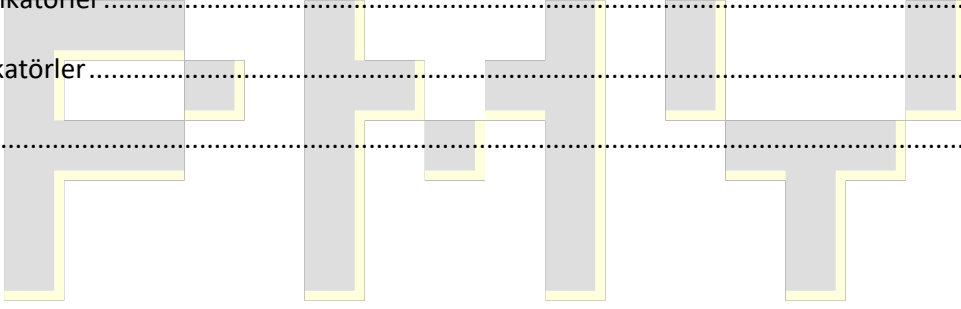
Sinyal Akışı ve Donanım

Bilgisi II

Amplifikatörler 0.1

İçindekiler

Temel Bilgiler	3
Neden Amplifikasyon?	4
Amplifikatör, Preamplifikatör ve Power Amplifikatör	6
Amplifikasyon.....	6
Amplifikatör Sınıfları	8
A Sınıfı Amplifikatörler	8
B Sınıfı Amplifikatörler	9
AB Sınıfı Amplifikatörler	10
D Sınıfı Amplifikatörler	11
Kaynakça	13



EREN
KARACAN

PMY-WEB.GITHUB.IO

Temel Bilgiler

Elektronik devrelerde takip edilen en temel iki nicelik, voltaj ve akımdır.

Voltaj(V): Temel tanıma göre; iki nokta arasındaki voltaj, negatif yüklü noktadan pozitif yüklü noktaya bir birim pozitif yük göndermek için gereken enerji miktarıdır. Daha kolay anlaşılır bir ifadeye göre; bir birim pozitif yükün yüksek potansiyel bölgesinden düşük potansiyel bölgesine doğru “yokuş aşağı” hareketinde ortaya çıkan enerjidir. Bu sebeple voltaja *potansiyel fark* ismi de verilmiştir. Voltaj ölçüm birimi Volt’tur.

Akım(A): Belirli bir noktadan geçen elektrik yükün miktarı, akımı ifade eder. Akım ölçüm birimi Amper’dır.

Analoji: Elektrik ve elektronik alanındaki pek çok olgu ve terim, özellikle alana yeni giren kişiler için, tanım üzerinden kolaylıkla anlaşılır değildir. Bu sebeple kavramların öğrenilmesinde analogiler kullanmak faydalı olabilmektedir. Ancak analogiler yalnızca bir kavramın anlaşılmasını kolaylaştıran benzetmelerdir. Çoğunlukla pek çok nüansın es geçilip kavramın basitleştirilmesiyle meydana gelirler. Dolayısıyla kavramı anlamak için kullandığınız analogilerin - bisiklet yan tekerleri gibi - öğrenmeye devam ettikçe terk edilmesi gerektiğini unutmayın. Bu oldukça geniş üst nottan sonra elektrik analogimize geçebiliriz.

Bir devre içerisinde hareket eden elektrik akımının su akışına benzediğini düşünelim. Bu durumda devrenin negatif yüklü bölgesi içinde bir miktar su bulunan yüksek bir baraja benzemektedir. Devrenin pozitif yüklü bölgesi ise alçak bir bölgede suyun akacağı bir havuza benzetilebilir. Kapalı devre oluştuğunda (yani baraj kapakları açıldığında) su yüksek barajdan alçak havuza akacaktır. Bu senaryoda voltaj, baraj ve havuz arasındaki yükseklik farkına benzemektedir. Suyun barajdan havuza ne kadar yüksek bir enerjiyle akacağını ifade etmektedir. Akım ise suyun akış yolundaki herhangi bir noktada ölçülen su miktarı olarak düşünülebilir.

Kavramların doğru ifade edilmesi, muhtemelen anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Dolayısıyla voltajın her zaman iki nokta “arasında” olduğunu hatırlamak gereklidir. Örneğin bir devredeki ampulden “geçen” bir voltajdan bahsetmek mümkün değildir. Ancak devreye güç veren pilin pozitif ve negatif kutbu “arasındaki” voltajdan bahsedilebilir. Tam tersi şekilde akım, çeşitli devre elemanlarından “geçen” yük miktarıdır. Dolayısıyla akım “devre elemanının içinden geçer”, voltaj ise “devredeki iki nokta arasındadır”.

Neden Amplifikasyon?

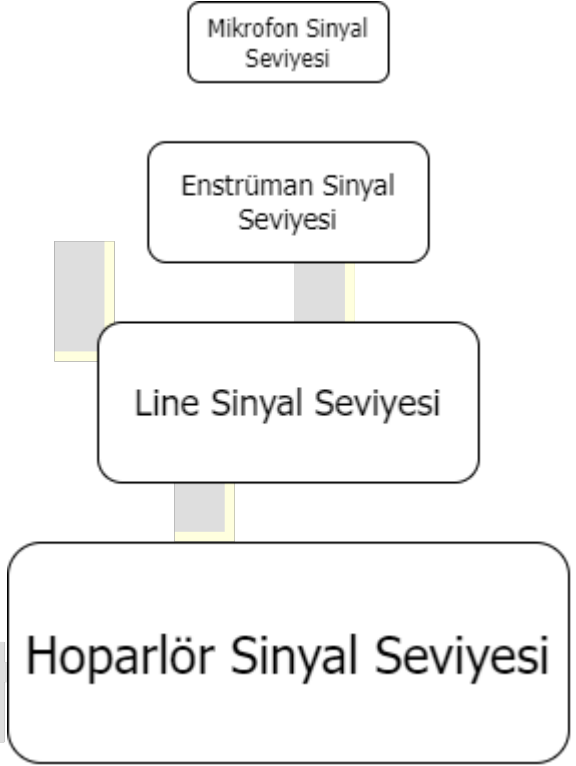
Bilindiği üzere, mikrofonlar akustik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren transducer'lardır. Günümüz kullanım standardına göre, mikrofon diyaframına etki eden basınç miktarı, mikrofonun bağlı olduğu devre içerisinde voltaj ile ifade edilir¹. Dolayısıyla yüksek genlikli akustik seslerin mikrofon tarafından dönüştürülmesi yüksek voltajlı sinyale, düşük genlikli seslerin dönüştürülmesi ise düşük voltajlı sinyale sebep olacaktır.

Mikrofonların sesi hangi voltaj aralığında analog sinyale dönüştürdüğüne dair kesin bir veri sunmak mümkün değildir. Mikrofonun çıkış voltajı aralığı mikrofon türünden mikrofon tasarımına kadar pek çok farklı parametreye göre değişebilmektedir. Örneğin, dinamik ve ribbon mikrofonlar oldukça düşük voltaj çıkışına sahipken condenser mikrofonlar genellikle mikrofona entegre amplifikatörler bulundurdıkları için daha yüksek voltaj çıkışı göstermektedir. Büyük oranda değişkenlik gösterse de, **mikrofon sinyal seviyesinin** genellikle 0.001V-0.02V aralığında olduğunu söylemek mümkündür. Bu aralık yaklaşık olarak -40/-60dBu aralığıyla da ifade edilebilir.

Sinyal seviyeleri, taşıdıkları toplam güce bağlı olarak belirli bir hiyerarşi içerisinde sıralanabilir. Bu sıralama düşük güçten yüksek güce şu şekildedir: mikrofon sinyal seviyesi, enstrüman sinyal seviyesi, line sinyal seviyesi ve hoparlör sinyal seviyesi.

Enstrüman sinyal seviyesi, elektronik parçalar barındıran enstrümanlardan alınan sinyal seviyesidir. Genellikle manyetikli enstrümanların çıkış sinyal seviyelerini ifade etmek için kullanılır. Mikrofon sinyal seviyesi ile line sinyal seviyesi arasında yer alır. Enstrümana bağlı olarak yaklaşık -30/-10dBu aralığındadır.

Mikrofon sinyal seviyesi, analog sinyal işleme ekipmanlarının büyük çoğunluğunun nominal çalışma seviyesi² olan **line sinyal seviyesinden** oldukça daha düşüktür. Line sinyal seviyesi, ses ekipmanlarının analog ses iletiminde kullandığı sinyal seviyesidir. Ne yazık ki, line sinyal seviyesi iki farklı standart kullanmaktadır:



¹ Basıncın voltaj değil akım ile ifade edilmesi de mümkündür. Ancak pek çok ses uygulamasında kullanılacak ekipmanı elektronik olarak karmaşıktırdığı için standart olarak yerleşmemiştir.

² Nominal seviye, bir elektronik sinyal işleme cihazı tasarlanırken çalışması beklenen seviyedir. Sinyal işleme cihazlarının elektrik gürültüsünden meydana gelen bir noise floor'u mevcuttur. Cihazın noise floor'u ile maksimum sinyal seviyesi arasındaki bölge, cihazın dinamik aralığını oluşturur. Nominal seviye, cihazın dinamik aralığının en etkili biçimde kullanılabileceği seviyedir.

1. **Profesyonel Line Seviyesi:** Profesyonel ses işleme ekipmanları line sinyal seviyesini **+4dBu** olarak kabul eder.

$$+4dBu = 1.22V_{rms}, 3.47V_{pp}, 1.78dBV$$

2. **Tüketici Line Seviyesi:** Tüketici ve yarı profesyonel ses ekipmanları line sinyal seviyesini -10dBV olarak kabul eder.

$$-10dBV = 0.31V_{rms}, 0.89V_{pp}, -7.78dBu$$

Line seviyesindeki sinyal ilgili işlemlerden geçtikten sonra hoparlörler vasıtasıyla duyurulmalıdır. Hoparlörlerin beklediği sinyal seviyesi, **speaker (hoparlör) sinyal seviyesidir**. Gerekli olan sinyal seviyesi, tıpkı mikrofonlarda olduğu gibi kullanılacak olan hoparlöre göre değişmektedir. Ancak hoparlör sinyal seviyesinin diğer sinyal seviyelerinden oldukça yüksek (yaklaşık 20 - 50V_{rms}) olduğu bilinmelidir. Hoparlör sinyal seviyesinin bir diğer karakteristik özelliği ise, genellikle Watt ile ifade edilmesidir. Watt, akım ve voltajın çarpılmasıyla elde edilen güç birimidir. Elektrik enerjisinin mekanik enerji, ısı enerjisi, ışık gibi farklı türlere dönüştürülerek kullanıldığı çoğu alanda sıklıkla kullanılır.

Mikrofon seviyesindeki sinyalin line seviyesinde, line seviyesindeki sinyalin ise hoparlör seviyesinde kullanılabilmesi için yükseltilmesi gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek adına kullanılan ekipmana amplifikatör ismi verilmektedir.

EREN
KARACAN

PMY-WEB.GITHUB.IO

Amplifikatör, Preamplifikatör ve Power Amplifikatör

Ses yükselticiler, sıklıkla üç farklı isimle kullanılır: Amplifikatör, Preamplifikatör ve Power Amplifikatör. Bilinmesi gereken önemli nokta, **bu üç aracın da teknik olarak aynı şey olduğudur**. Amplifikatör, sinyal seviyesini yükseltmek için kullanılan ekipmanın genel ismidir. Preamplifikatörler, genellikle mikrofon ve enstrüman sinyal seviyelerini line sinyal seviyesine yükseltmekte kullanılan amplifikatörlerdir. Power amplifikatörler ise line sinyal seviyesini hoparlör sinyal seviyesine yükseltmek için kullanılan amplifikatörlerdir. Ancak yaygın kullanımda power amplifikatörler yalnızca “amplifikatör” olarak ifade edilmektedir. Bu ders notlarının devamında ifade kargaşası yaratmamak adına “preamp” ve “power amp” terimleri kullanılacaktır. Görüldüğü üzere preamp’lar ve power amp’lar temelde aynı mantıkta çalışan cihazlardır. Ancak iki farklı kullanım alanı için özel konfigürasyonları ifade etmektedirler. Preamplifikatörler özellikle voltaj yükseltmek için tasarlanırken, power amplifikatörler hem voltajı hem akımı yükseltmek amacıyla tasarlanmaktadır.

Amplifikasyon

Sinyal amplifikasyonunda en çok kullanılan ve günümüz teknolojinin büyük bir kısmını mümkün kılan devre elemanı, **transistördür**.

Transistörlere ilişkin açıklamalar pek çok güzel animasyonla görselleştirilmiştir, şu Youtube videoları takip edilebilir:

[Sabin Civil Engineering - Transistors, How Do They Work?](#)

[The Engineering Mindset - Transistors Explained](#)

Transistörler, silisyum gibi yarı iletken maddelerden üretilmektedir. Yarı iletken maddeler, iletken olmaya en yakın yalıtkan maddeler olarak düşünülebilir. Dolayısıyla, yarı iletken maddelerin uygulanacak işlemler vasıtasıyla iletkenleştirilmeleri mümkündür. Yarı iletken maddeyi daha iletken olmaya iten işlemlere “doping” ismi verilmiştir. Doping işlemi N tipi ve P tipi olmak üzere ikiye ayrılır:

N tipi doping: Bu doping türünde silisyuma arsenik ya da fosfor eklenir. Bu işlem sonucunda moleküllerde serbest gezen elektronlar meydana gelir.

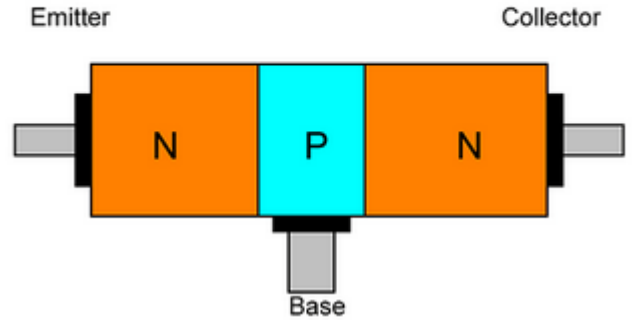
P tipi doping: Bu doping türünde ise silisyuma galyum ya da bor eklenir. Bu işlem sonucunda ise moleküllerde elektronların doldurabileceği “boşluklar” oluşur. Bu boşluklar çevredeki elektronlar tarafından doldurulur ve böylece moleküllerde serbest gezen “boşluklar” meydana gelir.

Bahsedilen doping işlemi ile yüklenmiş silikon plakaların **NPN** ya da **PNP** konfigürasyonları ile bir araya gelmesiyle oluşan transistörlere **Bipolar Junction Transistor (BJT)** ismi verilmiştir. Bu noktadan itibaren yapılacak açıklamalar NPN transistör konfigürasyonuna göre yapılacaktır. BJT transistörlerde iki farklı kesişim noktası bulunmaktadır: N-P ve P-N.

N-P ve P-N noktalarında N plakalarındaki serbest elektronlar P plakalarındaki boşlukları dolduracaktır. Bu doldurma işlemi kesişim noktalarının pozitif ve negatif olarak yüklenmesine ve ortada elektrik akımını engelleyen bir “tükenim

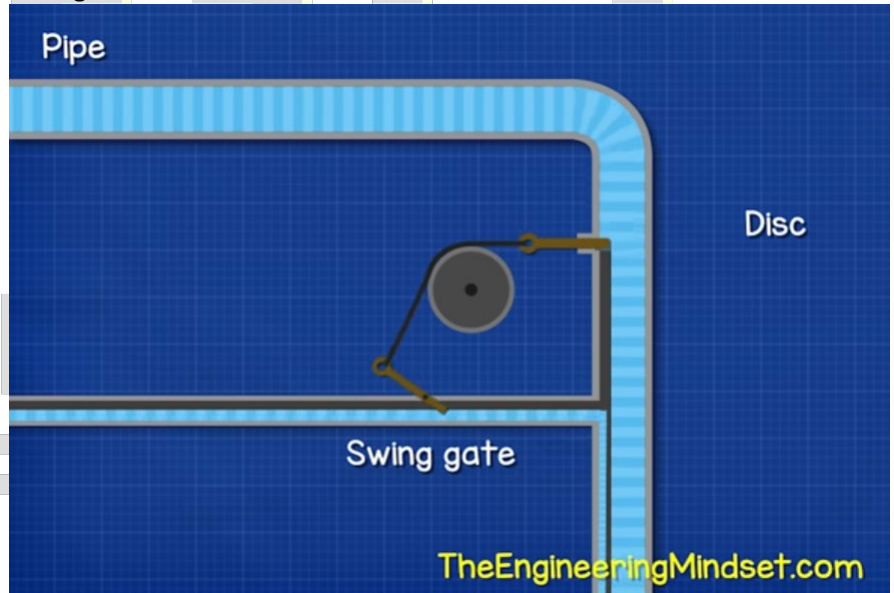
bölgesi”nin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bir transistörün hiçbir dış müdahalede bulunulmadığı durumda elektrik akımı geçirmediği söylenebilir. Ancak N-P kesişimine (Base-Collector terminallerine) daha fazla elektron sağlayacak bir güç kaynağı eklendiğinde N bölgesindeki elektronlar P bölgesine itilebilmektedir. Bu durumda aradaki tükenim bölgesi yok olacak ve bütün NPN plakası bir iletken görevi görecek. İletilen akım Emitter terminalinden toplanabilecektir.

NPN Transistor



Önceki paragrafta açıklanan “sisteme eklenen elektrik akımına göre değişen iletkenlik” transistörlerin sunduğu en önemli imkandır. Çünkü böylece çok düşük elektrik akımlarıyla, ya da sinyallerle; çok daha büyük elektrik akımlarını, ya da sinyalleri kontrol etmek mümkün hale gelmektedir. Bu imkanın sinyal amplifikasyonunda nasıl kullanılabileceğini anlamak için tekrar bir su analogisine başvurmak gerekirse:

İçerisinden büyük miktarda su akan geniş bir boru düşünün. Bu boru, bir kapakla kapatılmış durumda olsun. Bu kapağı açıp kapatan mekanizmayı kontrol eden daha ufak bir su borusu düşünün. Ufak su borusundan akan su miktarı arttıkça büyük borudaki kapak açılacak, ufak borudaki su miktarı azaldıkça büyük borudaki kapak kapanacaktır. Böylece sonuç incelendiği zaman ufak su borusundaki az su akımında meydana



gelen zamana bağlı değişiklikler, büyük su borusundan akan yüksek miktarda suya yansımaktadır.

BJT sistemi, yukarıda ifade edilen su borularıyla oldukça benzer şekilde çalışmaktadır. Collector ve Emitter terminalleri, büyük bir elektronik akım sağlayacak bir güç kaynağına bağlıdır. Base terminalinden bir elektrik akımı geçmediği sürece, Emitter – Collector arası elektrik iletmeyecektir. Ancak Base terminalinden geçen elektrik akımı arttıkça Emitter-Collector arasından geçen kuvvetli akım da artacaktır. Bildiğiniz üzere, analog ses dalgaları çeşitli farklı frekansları barındıran voltaj değişimlerinden ibarettir. Dolayısıyla Base terminaline yükseltmek istediğimiz ses sinyali bağlandığı zaman, Emitter-Collector arasındaki elektrik akımı yükseltilecek ses sinyaline bağlı olarak sağlanabilmektedir. Sinyalin tepe noktasında çok, çukur noktasında az elektrik akımı meydana gelecektir. Dolayısıyla, başka bir ifade ile kuvvetli bir elektrik akımı yükseltilecek sinyale bağlı olarak “şekillendirilmekte”, ya da yükseltilecek sinyal kullanılarak

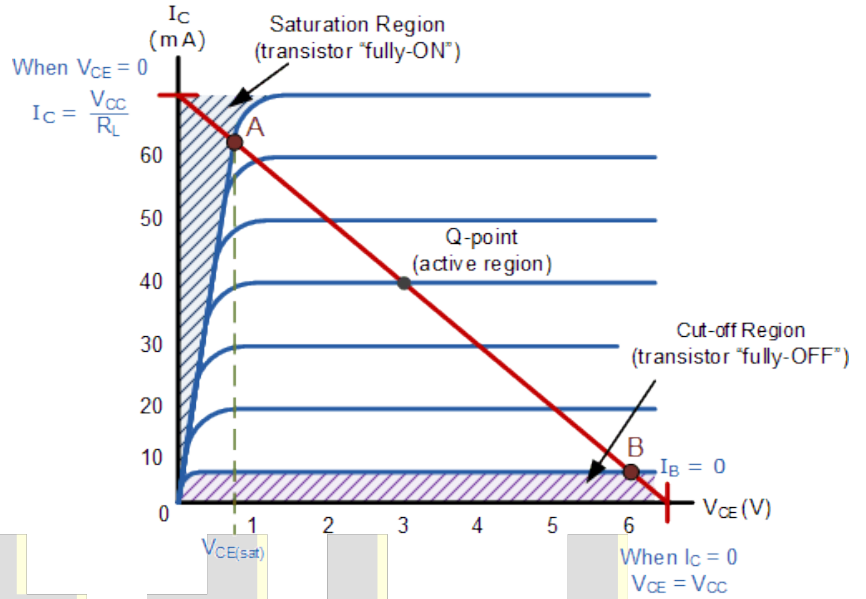
“kopyalanmakta”dır. Böylece oldukça az güçteki bir sinyalle oldukça güçlü bir elektrik akımı (dolayısıyla sinyal) üretmek mümkün olmaktadır.

Base terminaline gönderilen voltaj, transistörün davranışını kontrol etmekte kullanılmaktadır. Bu voltajın niceliğine bağlı olarak transistör üç farklı bölgede olabilir:

Cut-Off Bölgesi: Base’e gönderilen voltaj çok düşük olduğunda transistör Collector-Emitter arasında elektrik akımına izin vermeyecek, açık devre anahtarı gibi davranacaktır.

Aktif Bölge: Bu bölge transistörün tasarım amacına uygun çalıştığı bölgedir. Bu bölgede Base voltajı artırıldığında transistörden geçen akım artacak, Base voltajı azaltıldığında transistörden geçen akım azalacaktır.

Satürasyon Bölgesi: Base’e gönderilen voltaj çok yüksek olduğunda transistör satüre olur. Bu bölgede transistör kapalı bir devre anahtarı ya da bakır bir kablo görevi görecek, Collector terminaline gelen akımın tümü Emitter terminalinden çıkacaktır.

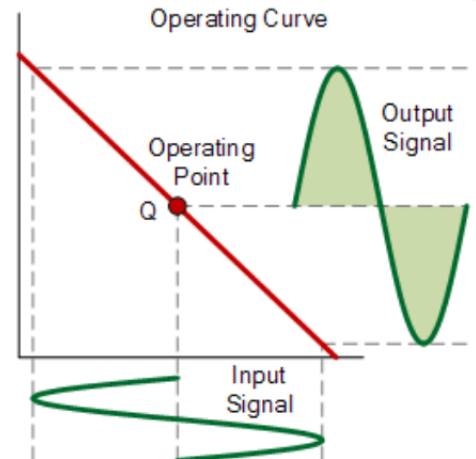


Amplifikatör Sınıfları

Amplifikatörler, giriş ses sinyalinin hangi yöntemle yükseltildiğine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Ses teknolojilerinde en sık karşılaşılan sınıflar A, B, AB ve D sınıflarıdır. Diğer sınıflar için: (Walker, 2012)

A Sınıfı Amplifikatörler

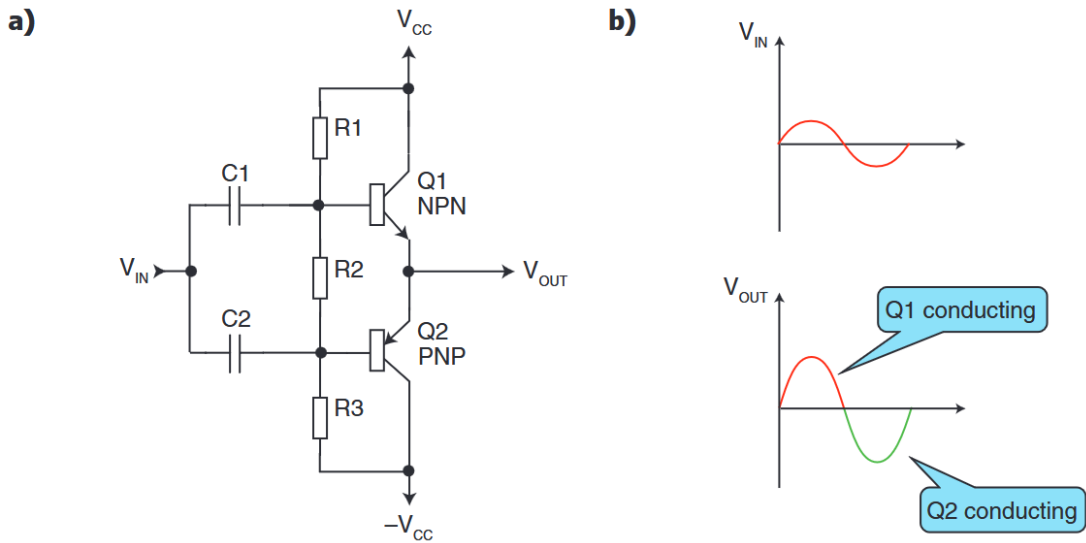
A sınıfı amplifikatörler en temel ve yalın amplifikatör tasarımlarındandır. Yukarıdaki bölümlerde su örneğiyle anlatılan amplifikatör, bir A sınıfı amplifikatördür. A sınıfı amplifikatörlerde giriş sinyali transistörün aktif bölgesini ortalayacak şekilde ötelenir. Örnek olarak kullanılan amplifikatörün aktif bölgesinin 1-9V arasında olduğunu düşünelim. Kullanılacak olan ses sinyalinin ise 0-5V arasında olduğunu varsayalım. Bu durumda ses sinyalinin orta noktası ile aktif bölgenin orta noktasının buluşması için ses sinyaline 2 Volt eklenmeli ve 2-7V aralığında ses sinyali elde edilmelidir. Böylece tüm ses sinyali transistörün aktif bölgesinde kalacak ve yükseltilebilecektir.



- A sınıfı amplifikatörlerin en önemli avantajı basit ve ucuz olmalarıdır, çünkü tüm yükseltme süreci tek bir transistörle ve voltaj ötelemesinde kullanılacak birkaç dirençle tamamlanabilmektedir.
- A sınıfı transistör sürekli “aktif” modda olduğu için cihazın devreye girmesi ya da aktive olması için bir süre gerekmemektedir.
- Transistörün satürasyon ve cut-off bölgelerine asla ulaşılmadığı için bu bölgelerden ortaya çıkan bozulmalarla karşılaşılmaz.
- Ancak tahmin edilebileceği üzere A sınıfı amplifikatörler giriş sinyalinin sessiz olduğu durumda bile çalışmakta ve çıkış sinyali üretmektedir. Bunun sebebi, giriş sinyalinin ötelenmiş olmasıdır. 5V’luk orta noktaya denk gelecek şekilde ötelenmiş bir giriş sinyali, sessizlik süresince 5V sinyalle transistörü devrede tutacaktır. Bu durum A sınıfı amplifikatörlerin güç tüketiminin oldukça verimsiz olmasına ve transistörün sürekli olarak ısınmasına sebep olmaktadır. A sınıfı bir amplifikatör genellikle %25 ve altında verimlilikle çalışmaktadır.

Özetle A sınıfı amplifikatörler oldukça basit ve ucuz sistemlerdir. Gürültü ve bozulmaları oldukça düşük olduğu için yükseltilmiş çıkış sinyali kalitesinde referans gösterilmeleri mümkündür. Ancak verimlilikleri oldukça düşük, ısınma problemleri oldukça yüksektir.

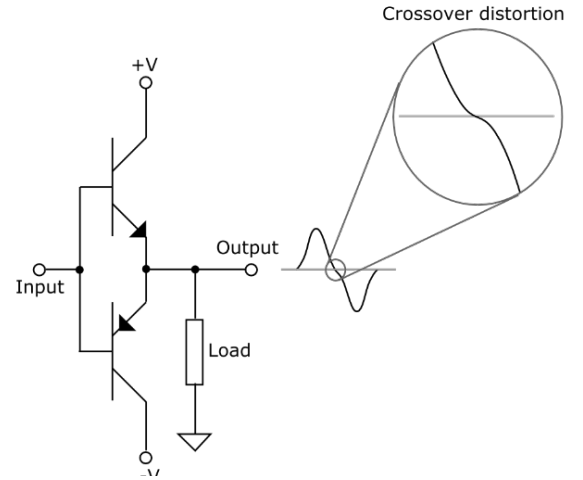
B Sınıfı Amplifikatörler



Bahsedildiği gibi, A sınıfı amplifikatörlerin temel sorunu enerji verimsizliğidir. B sınıfı amplifikatörler, bu verimsizliği gidermek amacıyla tasarlanmıştır. B sınıfı amplifikatörler bir değil iki (bir NPN, bir PNP) transistörden meydana gelmektedir. Temel teori, NPN transistörün pozitif voltaj bölgesinde, PNP transistörün negatif voltaj bölgesinde devreye girmesidir. Böylece teorik olarak 0V bölgesinde, başka bir ifadeyle giriş sinyalinin sessiz olduğu durumda iki transistör de cut-off noktasında olacak, devre enerji tüketmeyecektir.

- B sınıfı amplifikatörler, **push-pull** konfigürasyonları sayesinde A sınıfı amplifikatörlerden daha verimlidir.
- Ancak B sınıfı amplifikatörlerin teoride mükemmel olan iş paylaşımı, pratikte mümkün değildir. İki transistörün sinyalin iki farklı bölgesini mükemmel bir şekilde paylaşması mümkün değildir. Sinyalin sıfır noktasına yaklaştığı

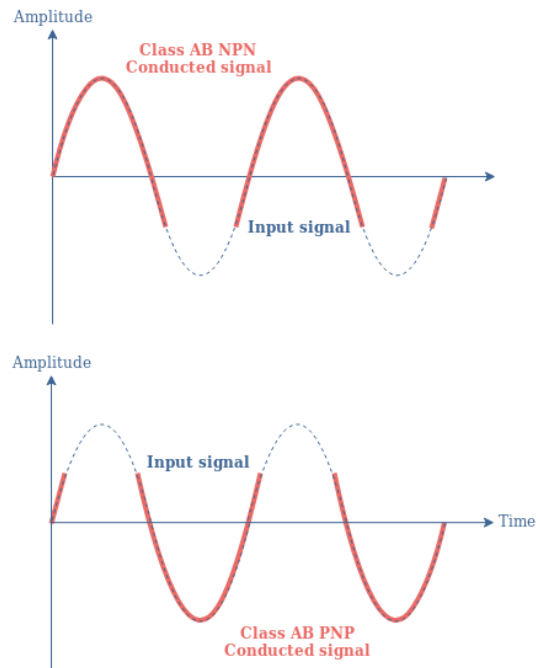
crossover bölgesinde iki transistörün de devre dışı olduğu durumlar olacaktır. Bu durum da sinyalin her **zero crossing** noktasında **crossover distortion**'a maruz kalmasına sebep olmaktadır. Modern amplifikatörler hassas öteleme yöntemleriyle crossover distortion'ı oldukça azaltabilse de çıkış sinyali her zaman için A sınıfı amplifikatörlerden daha yüksek bozulma taşıyacaktır.



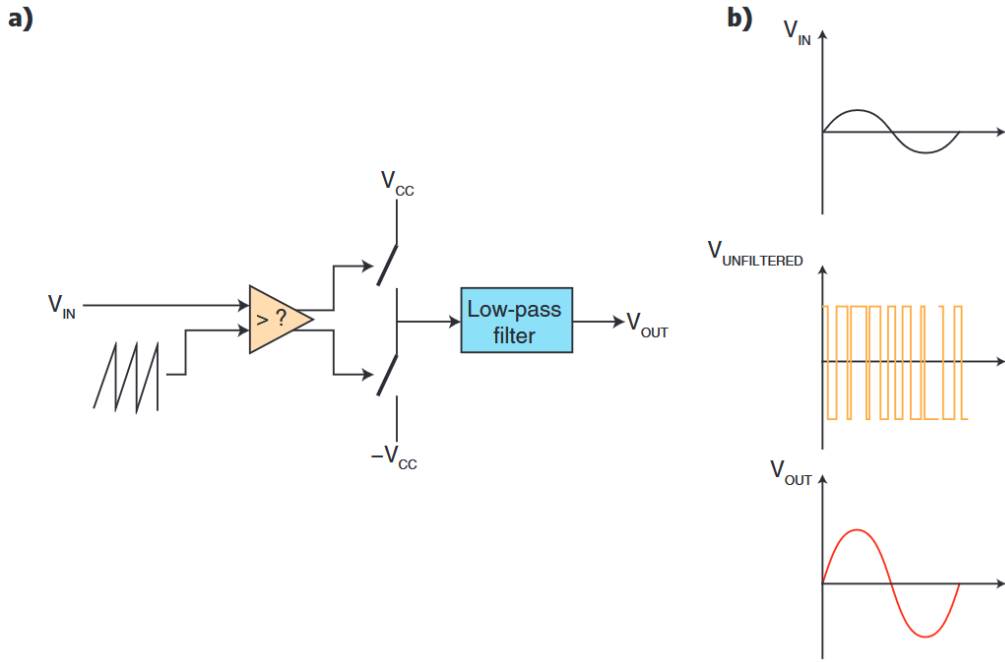
AB Sınıfı Amplifikatörler

İsminden de anlaşılacağı üzere, AB sınıfı amplifikatörler A sınıfı ile B sınıfının arasında yer almaktadır. AB sınıfı amplifikatörler A sınıfı çalışma prensibine yaklaştırılmış B sınıfı amplifikatörler olarak düşünülebilir. AB sınıfı amplifikatörlerde giriş ses sinyalinin orta noktası transistörlerin cut-off noktasından biraz daha yüksek bir noktaya ötelenmiştir. Dolayısıyla NPN transistör negatif voltaj bölgesinin bir kısmını, PNP transistör de pozitif voltaj bölgesinin bir kısmını yükseltmektedir. Böylece crossover bölgesinde iki transistörün de devre dışı kaldığı senaryodan kurtularak crossover distortion'ı azaltmak veya yok etmek mümkündür. Ancak bu durum, tıpkı A sınıfı amplifikatörlerde olduğu gibi,

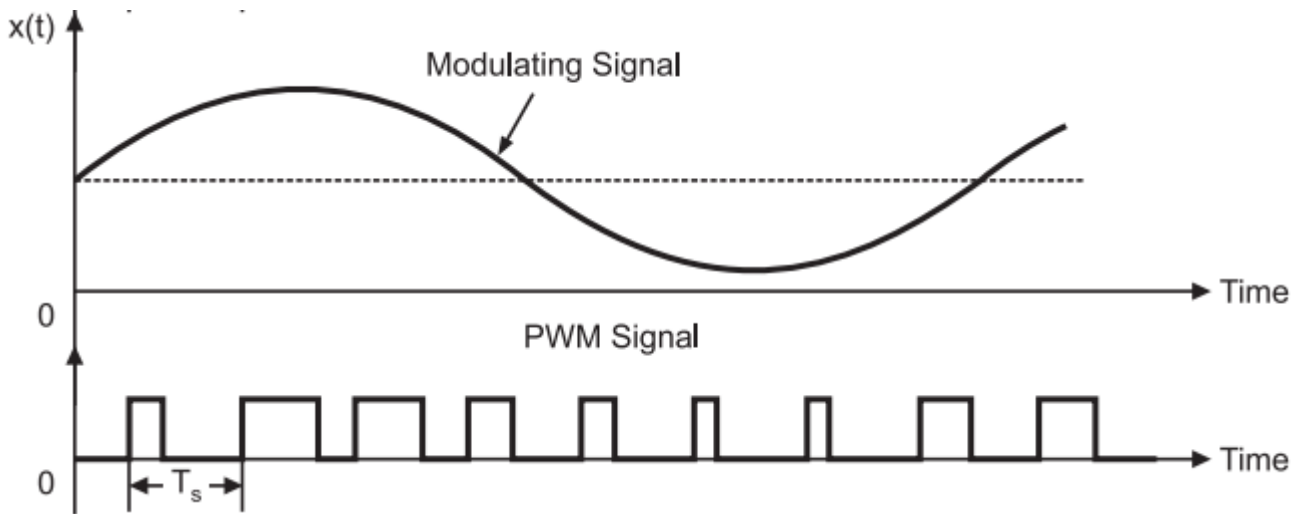
giriş sinyalinin sessiz olduğu durumda elektrik tüketiminin mevcut olmasına sebep olmaktadır. Ancak sessizlik durumunda A sınıfı amplifikatör aktif bölgesinin yarısındayken, AB sınıfı amplifikatör cut-off noktasına çok daha yakın olacak, dolayısıyla çok daha az akımın geçmesine sebep olacaktır. Dolayısıyla AB sınıfı amplifikatörler A sınıfının verimsizliğini B sınıfına, B sınıfının crossover distortion'unu A sınıfına yaklaştırarak iki sistemin ortasında daha iyi bir amplifikatör sistemi ortaya koymayı amaçlamaktadır.



D Sınıfı Amplifikatörler



D sınıfı amplifikatörler günümüzde düşük maliyetli yüksek güçlü audio amplifikatör seçenekleri içerisinde en yaygın olanıdır. D sınıfı amplifikatörler herhangi bir yükseltme yapmadan önce analog sesi dijital sese dönüştürür. Bu işlemi gerçekleştirmekteki temel fikir, transistörlerin sinyal yükseltme özelliğinin değil elektronik aç-kapa anahtarları olarak kullanılmasının daha kolay olduğudur. Sesin dijital sese dönüştürülmesinde genellikle **Pulse Width Modulation (PWM)** kullanılır. Pulse width modulation, analog ses sinyalinin değişen genişlikteki kare dalgalarla ifade edilmesi temeline dayanmaktadır. Buna göre, tepe noktasındaki bir analog sinyal %100 genişlik boyunca tepe değer gösteren (1) kare dalgalarla, çukur noktasındaki bir sinyal ise %100 genişlik boyunca çukur değer gösteren (0) kare dalgalarla ifade edilmektedir. Daha açık bir ifadeyle, örneklenen sinyalin anlık voltajı ne kadar yüksekse kare dalga'nın pozitif bölgesi o kadar geniş olacaktır.

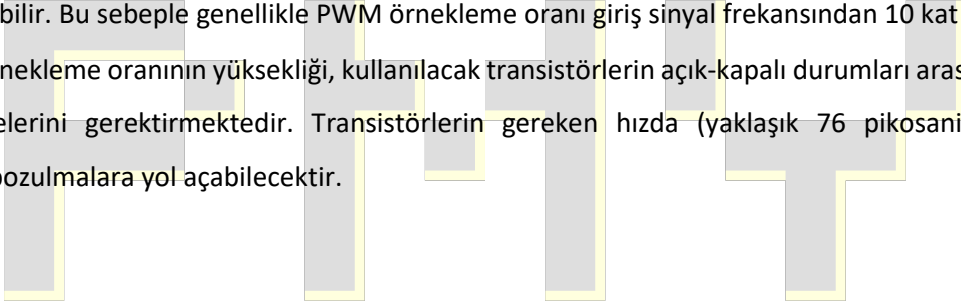


PWM ile dijitalleştirilen ses dalgalarının yükseltilmesi, oldukça kolaydır. Yapılması gereken tek şey, yüksek bir elektrik akımı ile beslenen transistörün kare dalgaların pozitif bölgesi boyunca “açık”, 0 bölgesi boyunca “kapalı” olacak

şekilde kare dalgayla sürülmesidir. Böylece çok daha yüksek voltaj ve akıma sahip PWM dalgalar elde edilebilecektir. PWM sinyallerin bir diğer avantajı ise, basit düşük-geçiren filtreler vasıtasıyla analog sinyallere dönüştürülebilmeleridir. *Bu sürecin akılda canlandırılması zor olduğu için şu videoyu önerebilirim: [nLab - Analog output from PWM and a low-pass filter](#)*

Böylece çıkış bölgesine yerleştirilecek bir düşük-geçiren filtre ile yükseltilmiş analog sinyal elde etmek oldukça kolaydır.

- D sınıfı amplifikatörler hem enerji verimliliği hem sinyal kalitesi anlamında oldukça başarılıdır.
- Yükseltilecek sinyalin dijital sinyal olması durumunda kullanılacak devre karmaşıklığı azalabilmektedir.
- Ancak D sınıfı amplifikatörlerin daha karmaşık yapısı, daha fazla adımda sorun meydana gelmesini de mümkün kılmaktadır.
- Öncelikle, kullanılan PWM örnekleme oranı ile çıkış filtresi doğru şekilde ayarlanmazsa aliasing ile karşılaşılabilir. Bu sebeple genellikle PWM örnekleme oranı giriş sinyal frekansından 10 kat fazla seçilir.
- Seçilen örnekleme oranının yüksekliği, kullanılacak transistörlerin açık-kapalı durumları arasında çok hızlı geçiş yapabilmelerini gerektirmektedir. Transistörlerin gereken hızda (yaklaşık 76 pikosaniye) çalışamaması, sinyalde bozulmalara yol açabilecektir.



EREN
KARACAN

PMY-WEB.GITHUB.IO

Kaynakça

Dailey, D. J. (2022). *Electronics for Guitarists*. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-031-10758-

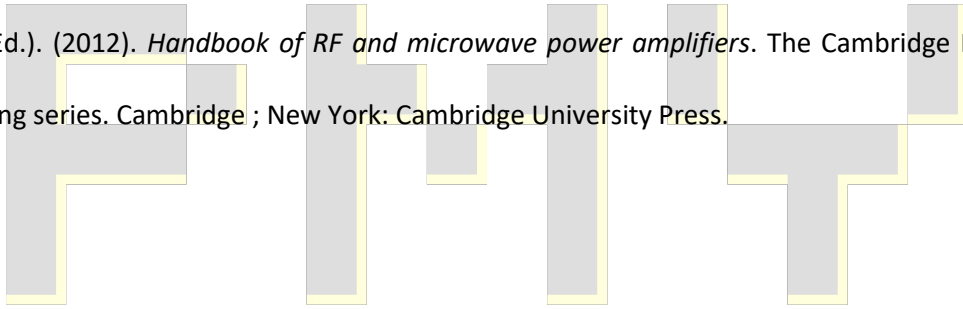
0

Horowitz, P. (2015). *The art of electronics* (Third edition.). New York, NY: Cambridge University Press.

Lacoste, R. (2013). Amplifier Classes From A to H. *Circuit Cellar*, (281).

Self, D. (2010). *Small signal audio design*. Oxford ; Burlington, MA: Focal Press.

Walker, J. L. B. (Ed.). (2012). *Handbook of RF and microwave power amplifiers*. The Cambridge RF and microwave engineering series. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.



EREN
KARACAN

PMY-WEB.GITHUB.IO